



Universitat de Lleida

TREBALL FINAL DE GRAU



ESCOLA
POLITÀCNICA SUPERIOR
UNIVERSITAT DE LLEIDA
INSPIRING THE FUTURE

Estudiant: Francisco Lorenzo Martínez

Titulació: Grau en Enginyeria Química

Títol de Treball Final de Grau: Viabilitat tècnica i econòmica per l'auto subministrament elèctric renovable d'una masia aïllada.

Director/a: Dr. Bernat Esteban Dalmau

Presentació

Mes: Maig

Any: 2019

ÍNDIX

RESUM.....	1
1.-GLOSARI.....	2
2.- INTRODUCCIÓ.....	3
2.1.- OBJECTIUS DEL PROJECTE.....	3
2.2.- ABAST DEL PROJECTE.....	3
3.- AEROGENERADORS I RECURS EÒLIC.....	3
3.1.- ENERGIA EÒLICA.....	3
3.2.- ELEMENTS BÀSICS D'UN AEROGENERADOR.....	4
Figura 1.- Parts de l'aerogenerador de baixa potencia. Font: Aerogeneradors Bornay.....	4
3.3.- CLASSIFICACIÓ DELS AEROGENERADORS.....	4
3.3.1.- Classificació en funció de la seva potencia.....	4
3.3.2.- Classificació en funció de la orientació de l'aeroturbina.....	5
3.4.- ROSA DELS VENTS.....	5
Figura 2.- Rosa dels vents de la població d'Òdena. Font. Elaboració pròpia. Programa WrPlot.....	6
3.5.- ESTIMACIÓ DE L'ENERGIA PRODUÏDA PER UN AEROGENERADOR EN UN EMPLAÇAMENT.....	6
Gràfic 1.- Corba de potencia del aerogenerador Inclín 6000 6kW. Font: Elaboració pròpia.....	7
Gràfic 2.- Funció de densitat de probabilitat. Font: Elaboració pròpia.....	8
Gràfic 3.- $P_e(U) - f(U)$. AEROGENERADOR INCLIN 6000 6kW. Corba de potencia. Font: elaboració pròpia.....	8
3.6.- SITUACIÓ DE LES ENERGIES RENOVABLES A CATALUNYA.....	9
4.-ENERGIA SOLAR FOTOVOLTÀICA.....	10
4.1.- ENERGIA SOLAR FOTOVOLTÀICA PER APLICACIONS AÏLLADES DE LA XARXA ELÈCTRICA.....	10
Figura 3.- Esquema de referència d'una instal·lació fotovoltaica autònoma.....	11
4.2.- CARACTERÍSTIQUES BÀSIQUES DELS PANELLS FOTOVOLTÀICS.....	11
4.2.1.- Característiques elèctriques dels panells fotovoltaics.....	11
4.2.2.- Parts d'un mòdul fotovoltaic:.....	13
Figura 4. Parts d'un panell fotovoltaic. Font: ICAEN. Institut Català d'Energia.....	13
4.2.3.- Connexions de mòduls.....	14
4.2.3.1.- Connexions en sèrie de mòduls fotovoltaics.....	14
Figura 5.- Connexió de quatre mòduls en sèrie. Font: ICAEN. Institut Català d'Energia.....	14
4.2.3.2.- Connexió en paral·lel.....	14
Figura 6. Connexions en paral·lel de mòduls FV. Font: ICAEN. Institut Català d'Energia.....	14
4.2.3.3.- Connexions mixtes de mòduls FV.....	15
Figura 7.- Connexió de quatre mòduls, en connexió mixta. Font: ICAEN. Institut Català d'Energia.....	15
4.3.- ESTRUCTURES DE SUPORT DELS PANELLS FOTOVOLTÀICS.....	15
5.- ACUMULADOR D'ENERGIA.....	15
Figura 8.- acumulador estacionari. Font: Institut Català d'Energia.....	16
5.1.- Principals paràmetres d'un acumulador elèctric.....	17
6.- REGULADOR DE CÀRREGA.....	17
6.1.- Paràmetres bàsics dels reguladors de càrrega.....	18

7.- INVERSOR..... 19

8.- CÀLCULS..... 19

8.1.- DISSENY D'INSTAL·LACIONS AUTÒNOMES. DIMENSIONAT INICIAL DE LA INSTAL·LACIÓ

SOLAR FOTOVOLTAICA. 19

8.1.1.- Dades de l'emplaçament. 20

Taula 1.- Dades de l'emplaçament. Font IDESCAT. 20

Figura 8: Vista aèria de l'emplaçament..... 20

8.1.2.- Estimació del consum elèctric de la masia..... 21

Taula 2.- Estimació del consum elèctric de la masia. Font: Elaboració pròpia. 21

Figura 9.- Radiació solar i potencial fotovoltaic. Font. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>..... 22

8.1.3.- Generador fotovoltaic. Potència del generador. 22

Taula 3.- Fitxa tècnica dels panells fotovoltaics: SCHOOT inDax225. Font: Schoot. 22

8.1.3.1.- Configuració dels panells fotovoltaics 1: $N_s=13$; $N_p=2$ 24

8.1.3.2.- Configuració dels panells fotovoltaics 2: $N_s=2$; $N_p=13$ 24

8.1.4.- Inversor. 25

Taula 4.- Fitxa tècnica de l'inversor: ZIGOR Sunzet 5 TL 25

8.1.5.- Dimensionat de les bateries. 25

Taula 5.- Característiques de la bateria. Font: BAE. 27

Gràfic 4. Número de cicles de vida en funció del percentatge de descàrrega. Font: Bae. 27

8.1.6.- Controlador de càrrega..... 27

Taula 6. Regulador de càrrega solar. TS60 Morningstar. 28

8.1.7.- Instal·lació elèctrica general. Secció dels conductors..... 28

Taula 7.- Caigudes màximes de tensió en cables elèctrics, segons IDAE. Font: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). 28

Figura 10.- intensitats màximes admissibles. Font: Norma UNE 20.460-5-523 a la que fa referència la Taula A, de la Guia ITC-BT 19. 30

8.1.8.- Estructura de suport dels panells fotovoltaics..... 30

Taula 8.- Estructura de suport. Font: Elaboració pròpia. 31

8.1.9.- Anàlisi energètic. 31

8.1.9.1.- Pèrdues per temperatura de les cèl·lules. 31

Taula 9.- Valors mitjos d'irradiació solar per als diferents mesos de l'any. Font: Elaboració pròpia. ... 33

8.1.9.2.- Producció anual esperada..... 33

8.1.9.2.1.- Exemple de càlcul per al mes de gener, per a la resta de mesos es mostra a la taula 11..... 33

Taula 10.- Estimació de l'energia produïda per la instal·lació. Font: Elaboració pròpia. 35

Taula 11.- Pèrdues por temperatura de cel·la, brutícia, cablejat i a l'inversor. Font: Elaboració pròpia. 36

Taula 12.- Irradiació global estimada cada hora, els diferents dies de cada mes de l'any, considerant la orientació òptima de l'emplaçament d'estudi. Font : Elaboració pròpia. 37

8.2.- DISSENY D'INSTAL·LACIONS AUTÒNOMES. DIMENSIONAT INICIAL DE LA INSTAL·LACIÓ

EÒLICA. 38

8.2.1.- Rosa dels vents de l'emplaçament. 38

Gràfic 5. Exemple de rosa dels vents de la població d'Òdena. Font. Elaboració pròpia. 38

Programa de llicència lliure: WrPlot 38

8.2.2.- Funció de probabilitat..... 39

Taula 13.- Funció de probabilitat. Font: Elaboració pròpia..... 39

Gràfic 6.- Funció de probabilitat. Font: Elaboració pròpia..... 40

8.2.3.- Funció de distribució de Weibull. 40

Taula 14.- Valors de la distribució de Weibull. Font: Elaboració pròpia. 41

Gràfic 7.- Distribució de Weibull. Font: elaboració pròpia..... 41

8.2.4.- Corba de potència de l'aerogenerador 42

8.2.4.1.- Corbes de potència dels diferents aerogeneradors estudiats. 42

Taula 15.- Generador model: Inclín 3000. Font. Elaboració pròpia. 42

Gràfic 8.- Generador model: Inclín 3000. Font. Elaboració pròpia. 42

Taula 16.- Generador inclin 6000. Font: Elaboració pròpia.	43
Gràfic 9.- Generador inclin INCLIN 6000. Font: Elaboració pròpia.....	43
Taula17.- Corba potencia aerogenerador BW V2 15 kW.Font: Elaboració pròpia.	44
Gràfic 10.- Corba potencia de l'aerogenerador model: BW V2 15 kW. Font: Elaboració pròpia.....	44
Taula 18.- Corba potencia de l'aerogenerador. Step V2 15kW.Font: Elaboració pròpia.	45
Gràfic 11.- Corba potencia de l'aerogenerador MODEL: Step V2 15kW. Font: Elaboració pròpia.	45
8.2.5.- Funció de densitat de probabilitat.....	45
Taula 19.- Funció de densitat de probabilitat. Font: Elaboració pròpia.....	46
Gràfic 12.- Funció de densitat de probabilitat. Font: Elaboració pròpia.....	46
8.2.6.- Energia produïda per l'aerogenerador a l'emplaçament.	46
Taula 20.- Energia produïda per l'aerogenerador INCLIN 3000 3kW. Font: Elaboració pròpia.	47
Gràfic 13.- Pe (U) – f(U). AEROGENERADOR MODEL: INCLIN 3000 3kW.	47
Taula 21.- Energia produïda per l'aerogenerador INCLIN 6000 6kW. Font: Elaboració pròpia.	48
Gràfic 14.- Pe (U) – f(U). AEROGENERADOR MODEL: INCLIN 6000 6kW.	48
Taula 22. Energia produïda per l'aerogenerador BW V2 15KW. Font: Elaboració pròpia.	49
Gràfic 15.- Pe (U) – f(U). AEROGENERADOR BW V2 15KW.	49
Taula 23.- Energia produïda per l'aerogenerador STEP V2 15KW. Font: Elaboració pròpia.	50
Gràfic 16.- Pe (U) – f(U). AEROGENERADOR MODEL: STEP V2 15KW	50
9.- ESTUDI ECONÒMIC.	51
9.1.- Pressupost instal·lació solar fotovoltaica i eòlica.....	51
Taula 24.- Pressupost instal·lació fotovoltaica. Font: Elaboració pròpia.	51
Taula 25.- Pressupost instal·lació eòlica. Font: Elaboració pròpia.	52
9.2.- Taxa de rendibilitat solar fotovoltaica.....	52
9.3.- Càlcul del cost per kWh produït. Solar fotovoltaica.	52
Taula.- 26. Producció energètica al llarg de l'any amb pèrdues i sense pèrdues. Font: Elaboració pròpia.....	53
9.4.- Costos que se'n derivarien si es volgués contractar el subministrament elèctric amb una companya elèctrica.....	54
Taula 27.- Preus i tarifes comercialitzadores 2018.Font: Elaboració pròpia.....	54
9.5.- Taxa de retorn de la inversió solar fotovoltaica.	55
9.5.1.- Exemple de càlcul de la taxa de retorn de la inversió solar fotovoltaica.....	55
Taula 28.- Costos connexió a companya elèctrica. Font: elaboració pròpia.....	56
Taula 29.- Moviment de fons anual instal·lació fotovoltaica. Font: Elaboració pròpia.....	57
9.6.- TAXA DE RENDIBILITAT EÒLICA.....	57
9.7.- CÀLCUL DEL COST PER kWh PRODUIIT. EÒLICA.....	58
Taula 30.- Moviment de fons anual instal·lació eòlica. Font: Elaboració pròpia.	59
10.- CONCLUSIONS.	60
8.- BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA CONSULTADA.	60
11.- ANNEXES.	61
11.1.- INDICACIONS DE "INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACION Y AHORRO DE LA ENERGIA" IDAE. DIMENSIONAT D'INSTAL·LACIONS SOLARS FOTOVOLTAIQUES AÏLLADES DE LA XARXA.	61

RESUM.

Estudi de la viabilitat i disseny d'una instal·lació fotovoltaica i eòlica de baixa potencia, per a l'auto d'una masia aïllada i sense connexió a la xarxa elèctrica, situada a la població d'Òdena pertanyent a la comarca de l'Anoia. En primer lloc, vaig fer un recull de dades meteorològiques de la zona d'estudi. Les dades varen ser proporcionades per l'estació meteorològica d'Igualada i per *Photovoltaic Geographical Information System* de la Comissió Europea.

A partir del processament de les dades recollides, s'estudia la viabilitat de la instal·lació solar fotovoltaica i eòlica, així, com els components necessaris i les seves característiques. En darrer lloc, realitzo un estudi econòmic, comparant els costos que se'n derivarien de cadascuna de les opcions d'autoconsum i el que suposaria obtenir l'energia d'una companyia elèctrica.

Agraïments

Als meus tutors; Dr. Bernat Esteban i Dr. Daniel Arumí Delgado, per la dedicació i ajuda en la realització d'aquest projecte.

1.-GLOSARI.

- **Factor de capacitat (FC):** Quocient entre l'energia estimada que pot produir l'aerogenerador en un emplaçament i la màxima que podria produir si estigués funcionant a la potència nominal tot el temps.
- **Corrent de curtcircuit (Icc):** Apareix en el moment en què entren en contacte elèctric directe els dos pols d'un generador.
- **Potència nominal del mòdul (Pmax):** la potència nominal del mòdul ve determinada pel punt de màxima potència amb el valor estàndard per a provar i homologar els mòduls.
- **Tensió de màxima potència (Vmax):** és el valor de la tensió que pot donar el mòdul quan les condicions de càrrega li permeten treballar a la màxima potència.
- **Intensitat de màxima potència (Imax):** és el valor de la intensitat que pot donar el mòdul quan les condicions de càrrega li permeten treballar a la màxima potència.
- **Tensió de circuit obert (Voc):** és la tensió màxima que pot donar el mòdul, obtinguda quan no hi ha cap càrrega connectada (circuit obert, corrent zero).
- **Regulador de càrrega.** Té la funció principal la protecció de les bateries, evitant que aquestes funcionin en estats de sobrecàrrega o sobre descàrrega excessiva.
- **Inversor.** Els generadors fotovoltaics i eòlics proporcionen potència en continua. Quan es requereix una línia de consum per alimentar equips en corrent altern es fa necessari recórrer a un inversor DC/AC que realitzi la transformació.
- **Funció de distribució de Weibull:** Proporciona informació sobre la probabilitat de que la velocitat del vent superi un cert valor.
- **FC :** Fluxos de caixa.
- **FCac :** Fluxos de caixa acumulats.
- **AO :** Estalvi.
- **CM :** Cost de manteniment de la instal·lació.
- **TC :** total costos.
- **Energies renovables:** Energia que s'obté de fonts naturals virtualment inesgotables, ja sigui per la immensa quantitat d'energia que contenen, o perquè són capaços de regenerar-se per mitjans naturals.

2.- INTRODUCCIÓ.

En aquest apartat es descriuen els objectius i l'abast del projecte, així com els estudis que es faran als diferents apartats que el conformen.

2.1.- OBJECTIUS DEL PROJECTE.

L'objectiu és estudiar la viabilitat tècnica i econòmica d'un sistema eòlic i fotovoltaic, pel subministrament d'electricitat a una masia que es troba aïllada de la xarxa elèctrica.

2.2.- ABAST DEL PROJECTE.

Com a punt de partida, es recullen i s'estudien les característiques del vent i d'irradiació solar incident a la zona d'estudi. Aquestes dades han estat facilitades per l'estació meteorològica d'Òdena, velocitat i direcció del vent i per *Photovoltaic Geographical Information System* de la Comissió Europea, radiació solar incident.

a la part del càlcul de l'energia eòlica com fotovoltaica com fotovoltaica, l'estudi es centrarà en comprovar la viabilitat, a partir del processament de les dades de vent i irradiació solar d'ambdós sistemes i si aquests, son suficients per cobrir les necessitats energètiques de la masia.

Finalment es realitzarà un pressupost del projecte fotovoltaic i eòlic.

3.- AEROGENERADORS I RECURS EÒLIC.

3.1.- ENERGIA EÒLICA.

Per energia eòlica entenem l'aprofitament de la energia cinètica de les masses d'aire que estan en moviment. L'aplicació més desenvolupada a l'actualitat, és la producció d'energia elèctrica, però, aquesta font energètica s'ha fet servir al llarg dels mil·lennis per impulsar vaixells, moldre gra, bombejar aigua, etc.

L'energia eòlica es troba entre les anomenades energies renovables. Essent aquestes un conjunt de tecnologies que aprofiten recursos inesgotables, com ara el vent, la llum solar, l'energia mecànica del mar, etc.

L'eòlica es una font d'energia que està disponible a pràcticament qualsevol lloc del planeta. Aquesta, pot ser desenvolupada, donat que no presenta dificultats tècniques extremes que la facin inaccessible.

3.2.- ELEMENTS BÀSICS D'UN AEROGENERADOR.

- Pales
- Boixa
- Multiplicadora
- Generador elèctric
- Gòndola
- Frens
- Torre
- Cimentació
- Sistema d' orientació.

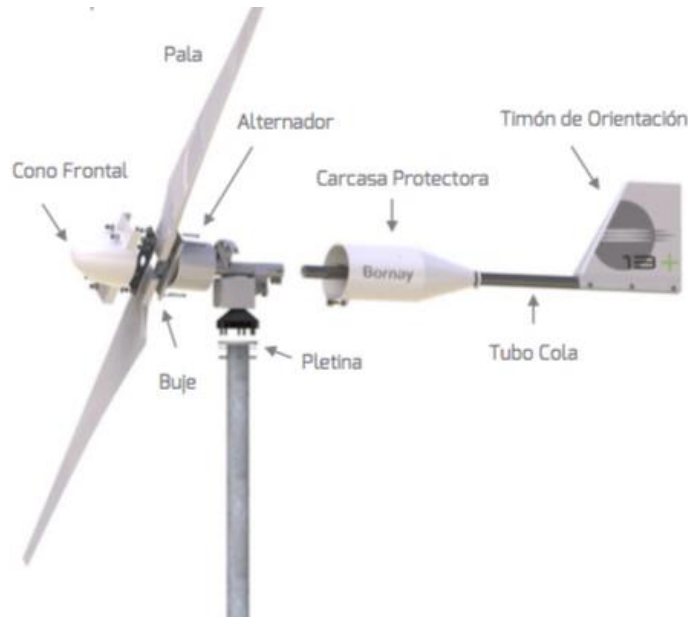


Figura 1.- Parts de l'aerogenerador de baixa potència. Font: Aerogeneradors Bornay.

3.3.- CLASSIFICACIÓ DELS AEROGENERADORS

3.3.1.- Classificació en funció de la seva potència.

- **MINIEÒLICA:** Son aerogeneradors amb una potència de fins a 100kW i amb un diàmetre de les pales d'entre 6 i 20 m. Se solen utilitzar en llocs que necessiten una baixa potència elèctrica, comunitats de veïns, instal·lacions de tractament d'aigües, etc.
- **MITJANS:** (100kW - 1MW, diàmetre de rotor de 20 - 50m). Aquests aerogeneradors es troben en llocs d'ús local o poden trobar-se integrats a parcs eòlics connectats a la xarxa elèctrica.
- **GRANS AEROGENERADORS:** La seva potència nominal va des de 1 MW fins a 10MW. El diàmetre del rotor supera els 50 m poden assolir els 120m. Funcionen connectats a la xarxa elèctrica, generalment agrupats en parcs eòlics.

3.3.2.- Classificació en funció de la orientació de l'aeroturbina.

Els aerogeneradors que tenen l'eix perpendicular al terra s'anomenen "aerogeneradors d'eix vertical", mentre que els que tenen l'eix paral·lel al terra i alineat amb la velocitat del vent s'anomenen "aerogeneradors d'eix horitzontal".

Els aerogeneradors es classifiquen en els d'eix perpendicular al terra que no necessiten orientar-se i els de l'eix paral·lel al terra i alineat amb la velocitat del vent s'anomenen "aerogeneradors d'eix horitzontal". Aquestes són les aeroturbines més emprades en l'actualitat, el rotor gira en pla vertical. Les pales de l'aerogenerador es comporten de forma similar a les ales d'un avió, essent el principi de funcionament el de sustentació, permetent un major grau de regulació de l'aerogenerador per adaptar el seu funcionament a les condicions del vent, millor que en el cas dels aerogeneradors d'eix vertical.

3.4.- ROSA DELS VENTS.

Els vents es diferencien segons la direcció des de la que bufen. Per conveni sempre es pren la direcció d'allà on vénen.

La direcció del vent s'expressa amb el punt cardinal d'on procedeix. Un vent del nord significa doncs que ve del nord i se'n va cap al sud. Els vents també reben un nom segons de quin punt cardinal procedeixen.

En català els vents es coneixen per: tramuntana el del nord, gregal el del nord-est, llevant el de l'est, xaloc el del sud-est, migjorn el del sud, llebeig (o garbí) el del sud-oest, ponent el de l'oest i mestral el del nord-oest.

Per mostrar la informació sobre les distribucions de velocitats del vent i la seva freqüència de variació de les direccions del vent. Podem dibuixar a partir d'aquestes dades l'anomenada rosa dels vents.

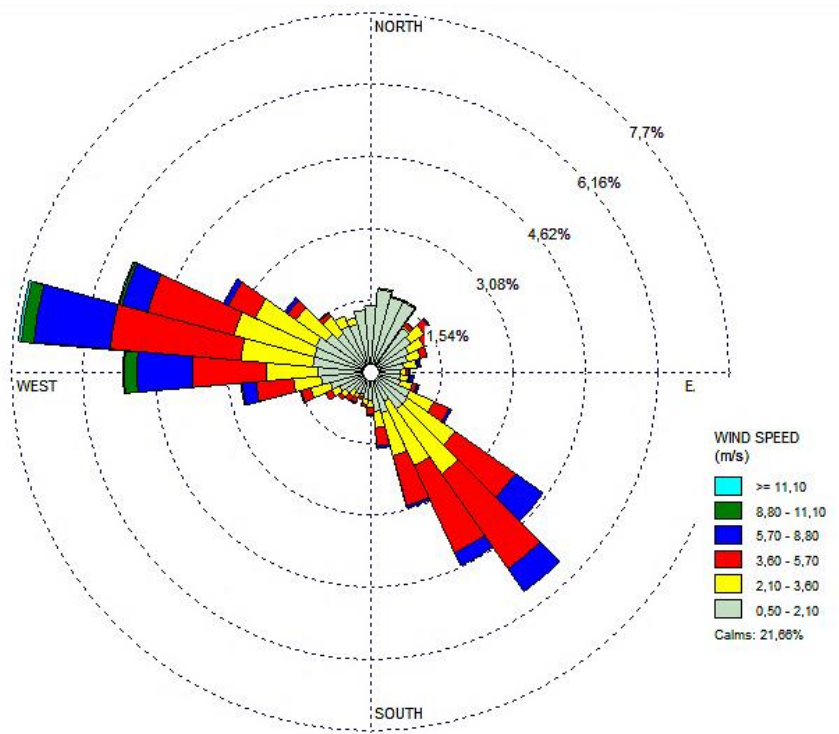


Figura 2.- Rosa dels vents de la població d'Òdena. Font. Elaboració pròpia. Programa WrPlot

L'observació de la rosa dels vents és extremadament útil a l'hora de situar un aerogenerador, donat que una gran part de l'energia del vent, bé d'una direcció particular, el que voldrem, al col·locar l'aerogenerador, serà tenir la quantitat més petita d'obstacles en aquesta direcció i un terreny el més pla possible.

3.5.- ESTIMACIÓ DE L'ENERGIA PRODUÏDA PER UN AEROGENERADOR EN UN EMPLAÇAMENT.

L'energia produïda per un aerogenerador en un emplaçament donat es pot determinar a partir de la corba de duració de velocitat en aquest emplaçament i la corba de potencia de l'aerogenerador, facilitada pel fabricant.

Les mesures de la velocitat del vent d'almenys un any solen quedar ben representades mitjançant una **funció de distribució de Weibull**, descriu la probabilitat de freqüència de la distribució de velocitats del vent, a partir de la velocitat mitja del vent.

$$P(v > u) = \exp \left[- \left(\frac{u}{c} \right)^k \right] \quad (\text{Eq.1})$$

On $k > 0$ és un factor de forma i $C > 1$ es un factor d'escala.

Derivant l'expressió de Weibull respecte a u s'obté la funció de densitat de probabilitat, $f(u)$.

$$f(u) = \frac{k}{c} \left(\frac{u}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{u}{c}\right)^k\right] \quad (\text{Eq.2})$$

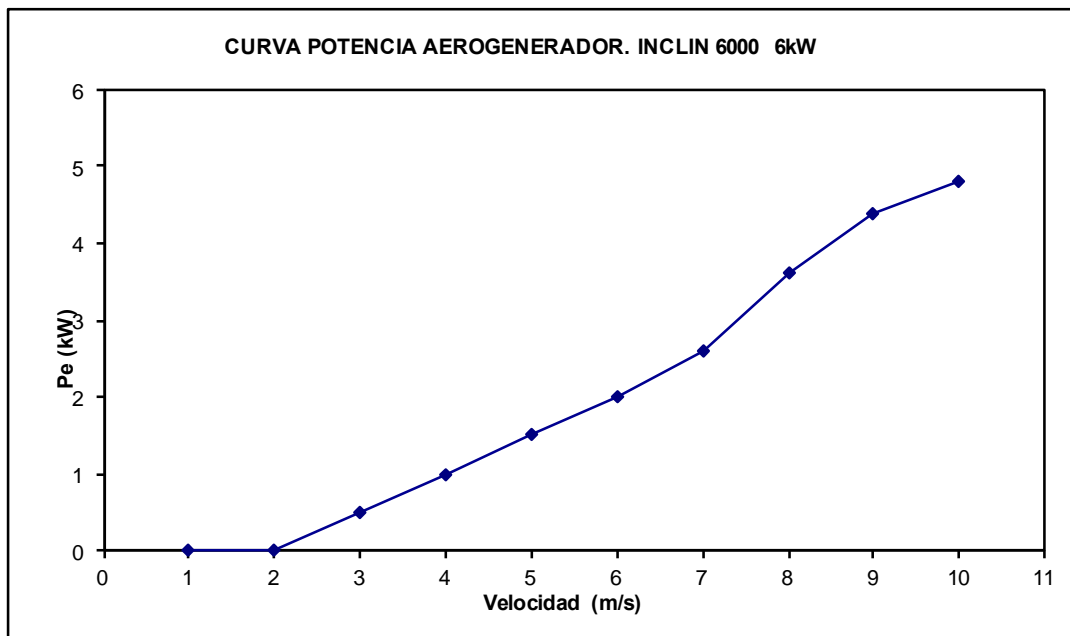
El percentatge d'un cert període de temps T en el qual s'assoleix una certa velocitat del vent u ve donada per l'expressió:

$$f(u)du = \frac{dT}{T} \quad (\text{Eq.3})$$

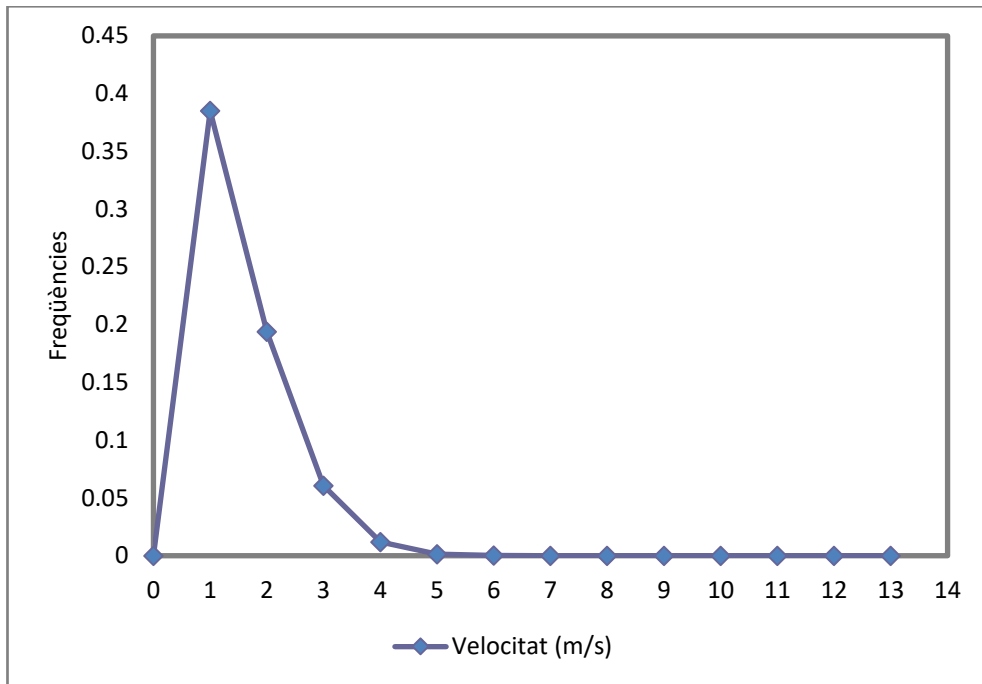
La corba de potencia de l'aerogenerador ens determina la potència elèctrica $Pe(u)$ que es generada per a cada velocitat del vent. Així, l'energia capturada per un aerogenerador al llarg d'un període de temps T vindrà donada per:

$$E = T \int_{Va}^{Vp} Pe(u)f(u)du \quad (\text{Eq.4})$$

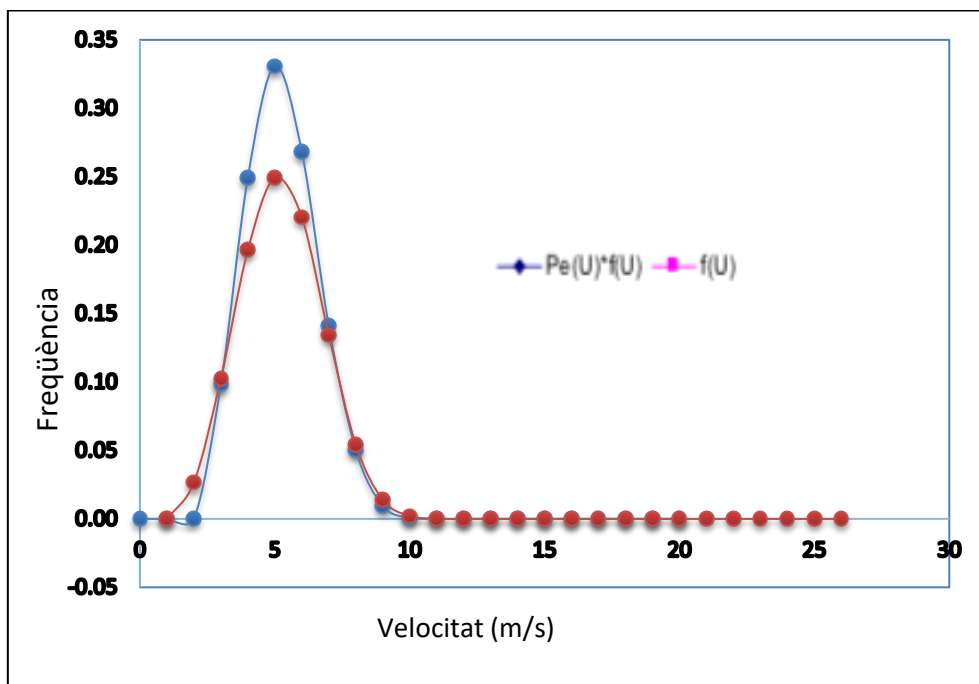
On Vp i Va són les velocitats d'aturada i arrencada, respectivament.



Gràfic 1.- Corba de potencia del aerogenerador Inclín 6000 6kW. Font: Elaboració pròpia.



Gràfic 2.- Funció de densitat de probabilitat. Font: Elaboració pròpia.



Gràfic 3.- $P_e(U) - f(U)$. AEROGENERADOR INCLIN 6000 6kW. Corba de potencia. Font: elaboració pròpia.

A la gràfica 3 queda representat el producte de la potència de l'aerogenerador i la densitat de probabilitat, en funció de la velocitat del vent. Es dedueix, que l'àrea sota la corba, representa l'energia mitja per unitat de temps generada per l'aerogenerador.

Si fem el producte d'aquesta energia mesurada per unitat de temps pel número d'hores anuals , obtenim l'energia generada al cap de l'any.

Un paràmetre important ens determinarà la viabilitat d'un aerogenerador, és el factor de capacitat. Aquest és el quocient entre l'energia estimada que pot produir l'aerogenerador a un emplaçament i la màxima que podria produir si estigués funcionant a la potència nominal tot el temps .

$$FC = \frac{E}{P_n \times 8760} \quad (\text{Eq.5})$$

Els valor típics del factor de capacitat se situen entre 0,25 i 0,3

3.6.- SITUACIÓ DE LES ENERGIES RENOVABLES A CATALUNYA.

L'aportació d'energies renovables s'ha estancat a Catalunya, i fins i tot ha retrocedit el darrer any (2015). Les fonts renovables només van produir el 18,5% de l'electricitat el 2015. Aquesta xifra, a més, ha disminuït més de dos punts percentuals en relació amb el 2014, i trenca així una tendència positiva que arrencava el 2011. Per contra, les tres centrals nuclears catalanes aporten un 53,5% de l'energia total, quan només els resten deu anys de vida útil. Aquestes dades evidencien que les alternatives renovables a l'energia nuclear no estan creixent com preveia el pla per a la renovació del model energètic de Catalunya, que està encara a l'espera del seu desplegament.

De fet, d'entre les renovables, només l'energia hidràulica i l'energia eòlica s'enduen la major part de la producció, amb un 10% i un 5%, respectivament, del total a Catalunya, En canvi, la resta, des de la fotovoltaica o la solar, passant per la biomassa o el biogàs, fins els residus sòlids urbans renovables, són pràcticament marginals i no arriben ni al 4% de la producció. Malgrat la possible incidència de les condicions climàtiques en el descens de l'aportació de les fonts renovables, cal també subratllar que, segons les dades de la Generalitat, els valors de producció d'aquesta mena d'energies no han augmentat substancialment els darrers anys.

4.-ENERGIA SOLAR FOTOVOLTÀICA.

S'anomena energia solar fotovoltaica a l'energia elèctrica que s'ha generat directament en un dispositiu anomenat cèl·lula solar, a partir de la radiació solar que incideix sobre ella. El procés de transformació de la llum en electricitat, "efecte fotoelèctric", té lloc gràcies a les propietats dels materials semiconductors.

Els compostos d'un material que presenta efecte fotoelèctric absorbeixen fotons de la llum i emeten electrons. Quan aquests electrons lliures són capturats, el resultat és un corrent elèctric que pot ser utilitzat com electricitat. Un grup de cèl·lules fotoelèctriques per a energia solar és conegut com a panell fotovoltaic, consisteix en una xarxa de cèl·lules solars connectades en circuit en sèrie per augmentar la tensió de sortida a la vegada que es connecten diverses xarxes en circuit en paral·lel per augmentar el corrent elèctric que és capaç de proporcionar el dispositiu. El tipus de corrent elèctric que proporciona és corrent continu.

4.1.- ENERGIA SOLAR FOTOVOLTÀICA PER APLICACIONS AÏLLADES DE LA XARXA ELÈCTRICA.

Les aplicacions aïllades de la xarxa, són instal·lacions autònomes on la generació elèctrica s'utilitza per consum propi del lloc on s'ha produït.

Degut a la intermitència del recurs solar, cal un sistema d'emmagatzematge que reculli l'energia generada, per la seva posterior utilització en moments de baixa o nul·la radiació solar.

Pel fet que es tracti d'una instal·lació autònoma, és imprescindible realitzar una gestió molt acurada del consum energètic. A més a més, la localització d'aquest llocs, sol situar-se en zones aïllades, en ocasions amb accessos complicats, fa que calgui una instal·lació amb una elevada fiabilitat.

La tecnologia fotovoltaica permet subministrament elèctric fiable en aquest llocs, mitjançant equips de baixa potència, de fàcil instal·lació i un manteniment senzill.

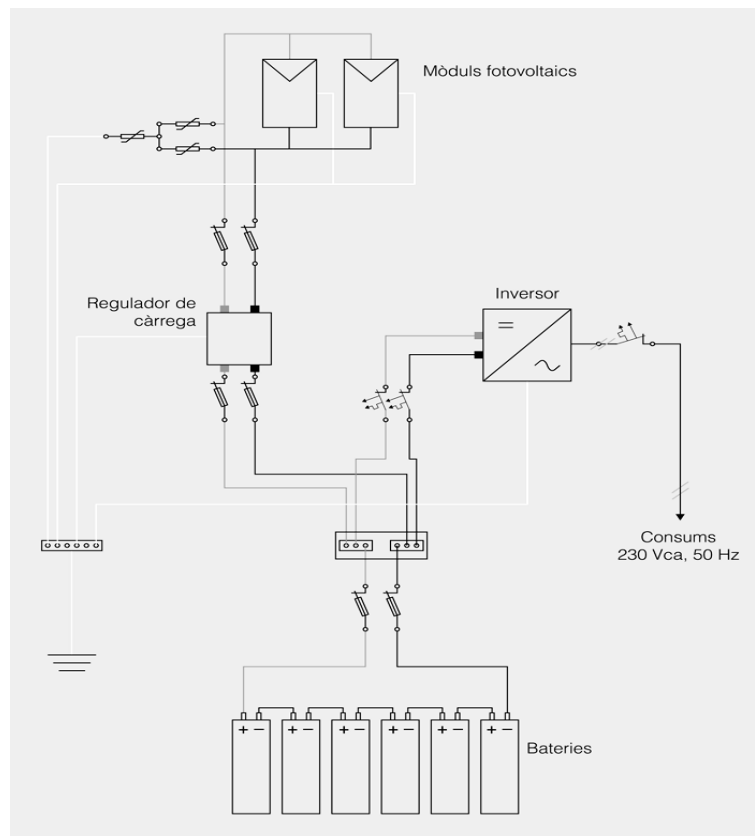


Figura 3.- Esquema de referència d'una instal·lació fotovoltaica autònoma.

4.2.- CARACTERÍSTIQUES BÀSIQUES DELS PANELLS FOTOVOLTAICS.

La cèl·lula solar només és capaç de generar una tensió d'unes dècimes de volt (+/- 0,5 V) i una potència màxima d'1 o 2 Watts. Per tant, és necessari connectar en sèrie diverses cèl·lules (es comporten com petits generadors de corrent) per aconseguir tensions de 24 V, acceptades en moltes aplicacions. El conjunt format per unes quantes cèl·lules, convenientment encaixat i protegit, constitueix el mòdul fotovoltaic, element de la instal·lació solar fotovoltaica encarregat de transformar d'una manera directa l'energia de la radiació solar en electricitat, en forma de corrent continu.

4.2.1.- Característiques elèctriques dels panells fotovoltaics.

Les característiques elèctriques d'una cèl·lula, panell o generador fotovoltaic s'estableixen a partir d'unes condicions universals de treball anomenades "condicions estàndard de mesura (CEM)", concretades en els paràmetres següents:

- **Irradiància solar:** 1.000 W/m².
- **Distribució espectral:** AM 1,5 G. Espectre a nivell de terra.

- **Temperatura de la cèl·lula:** 25°C.

Basant-se en aquestes condicions de mesura, s'estableix la potència nominal o pic del panell i es descriu la corba característica del mòdul Intensitat-Tensió (I-V), dades que s'han de reflectir en l'etiqueta de característiques del panell.

- **Potència nominal del mòdul (Pmax):** la potència nominal del mòdul ve determinada pel punt de màxima potència amb el valor estàndard per a provar i homologar els mòduls.
- **Tensió de màxima potència Vmax:** és el valor de la tensió que pot donar el mòdul quan les condicions de càrrega li permeten treballar a la màxima potència.
- **Intensitat de màxima potència (Imax):** valor de la intensitat que pot donar el mòdul quan les condicions de càrrega li permeten treballar a la màxima potència.
- **Intensitat de curtcircuit (Isc):** és el corrent que produeix el mòdul quan és forçat a treballar a un voltatge zero, és a dir, amb un curtcircuit en els seus contactes elèctrics. A nivell experimental, es mesura amb un amperímetre connectat a la sortida dels borns del mòdul. El valor varia proporcionalment en funció de la radiació solar a la qual està exposat. És important saber que aquesta mesura no és destructiva, ja que la intensitat resultant és la màxima que poden produir les cèl·lules i per a la qual estan preparades.
- **Temperatura d'operació nominal de la cèl·lula (NOCT):** definida com la temperatura a la qual arriben les cèl·lules solars quan se sotmet el mòdul a una irradiància de 800 W/m² amb distribució espectral AM 1,5 G, la temperatura ambient és de 20°C i la velocitat del vent, d' 1 m/s.
- **Eficiència del mòdul:** és la relació entre la potència elèctrica que produeix el mòdul i la potència de radiació incident en el mòdul mateix.
- **Factor de forma del mòdul:** és un concepte teòric, útil per a mesurar la forma de la corba del panell: $FF = P_{max} / (I_{sc} \cdot V_{oc}) = I_{max} \cdot V_{max} / (I_{sc} \cdot V_{oc})$.

És important remarcar que les corbes característiques d'un mòdul solar FV depenen de la intensitat de radiació que reben i de la temperatura, de manera que aquestes corbes varien si canvien aquests paràmetres, com es pot veure en les corbes següents. En general, recordar que la potència del mòdul disminueix aproximadament un 0,5% per

cada grau que augmenta la temperatura de la cèl·lula per sobre dels 25°C. Per evitar haver de calcular intensitats mitjanes de radiació, cal suposar en la majoria dels casos que la temperatura mitjana de treball de les cèl·lules és 20°C superior a la de l'ambient, la qual cosa és una bona aproximació. Els mòduls es poden classificar per la potència que poden produir. Van des de valors d'1 o 2 W fins a 900 W. Quan parlem de la potència d'un mòdul, ens referim a la seva potència nominal, és a dir, la que el fabricant assegura sota uns valors de radiació i de temperatura. Així la potència nominal pic és la proporcionada amb una radiació de 1.000 W/m² a una temperatura de 25°C. Normalment, la potència que generarà sempre serà inferior a aquesta.

4.2.2.- Parts d'un mòdul fotovoltaic:

- **Coberta exterior:** protectora contra els agents atmosfèrics. Per la banda frontal té un vidre trempat, ja que ofereix una bona protecció contra els impactes i a la vegada és un excel·lent transmissor de la radiació de l'espectre solar.
- **Capes encapsades:** són les encarregades d'envoltar les cèl·lules solars i els seus contactes. El material més usat és l'etilè-acetat de vinil, que també té excel·lents propietats per a la transmissió de la radiació solar i una nul·la degradació davant les radiacions ultraviolades.
- **Protecció posterior:** encarregada de la protecció contra agents atmosfèrics, especialment la humitat.
- **Marc de suport:** és la part que dóna robustesa mecànica al conjunt i facilitarà poder-lo col·locar a l'estructura de suport. Normalment d'alumini anoditzat.

Tall transversal de l'eficàcia estructura modular

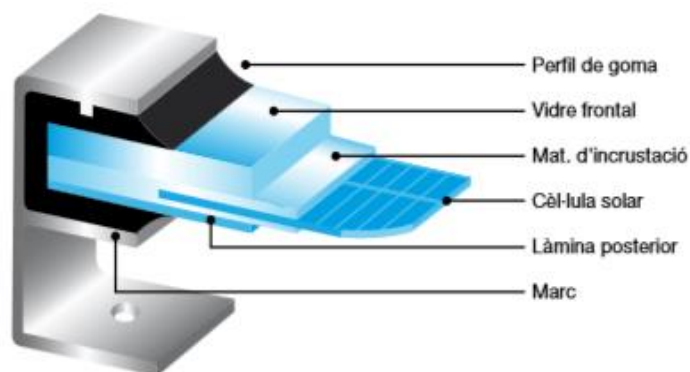


Figura 4. Parts d'un panell fotovoltaic. Font: ICAEN. Institut Català d'Energia.

Alguns mòduls fotovoltaics tenen una presa de terra, que s'haurà de fer servir en instal·lacions de potència elevada. A la part posterior del mòdul, s'hi col·loca una caixa de connexions amb els terminals identificant-los com a positiu (+) i negatiu (-). En el procés de fabricació, una vegada muntades les connexions elèctriques, es passa un control de qualitat molt estricte, ja que no podem oblidar que estan exposats durant molts anys a la intempèrie en condicions des d'una calor extrema fins a freds glacials, vent, humitat, etc.

4.2.3.- Connexions de mòduls.

4.2.3.1.- Connexions en sèrie de mòduls fotovoltaics.

Es connecta el terminal positiu d'un mòdul al terminal negatiu del mòdul següent i així successivament fins acabar la sèrie completa. La sortida del conjunt serà entre el terminal positiu del darrer mòdul i el negatiu del primer. Com hem vist, la intensitat de corrent d'aquesta connexió es manté constant i igual a la d'un mòdul, de manera que l'augment de potència s'aconsegueix mantenint la intensitat que pot donar un mòdul i augmentant la tensió. Aquesta és igual a la suma de totes les tensions dels mòduls connectats.

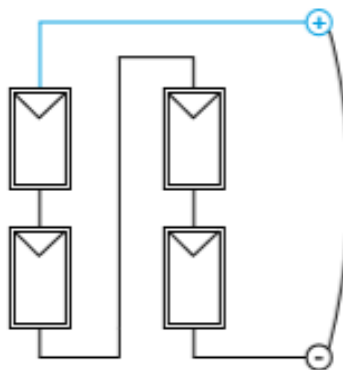


Figura 5.- Connexió de quatre mòduls en sèrie. Font: ICAEN. Institut Català d'Energia.

4.2.3.2.- Connexió en paral·lel.

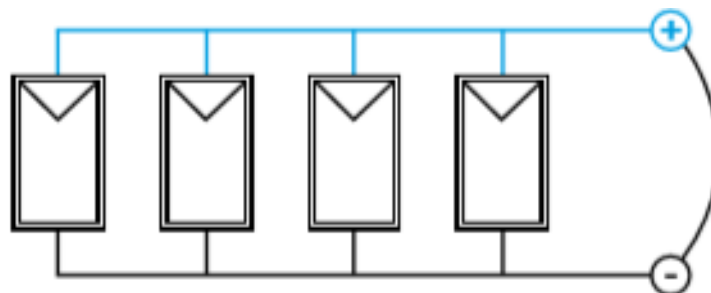


Figura 6. Connexions en paral·lel de mòduls FV. Font: ICAEN. Institut Català d'Energia.

4.2.3.3.- Connexions mixtes de mòduls FV

Sovint fem connexions mixtes sèrie-paral·lel atès que hem de treballar a un voltatge determinat i tindrem un nombre concret de mòduls. En aquest cas, connectem en sèrie el nombre de mòduls que ens generi el voltatge de funcionament i connectarem en paral·lel el nombre de grups que faci falta per a assolir la potència necessària.

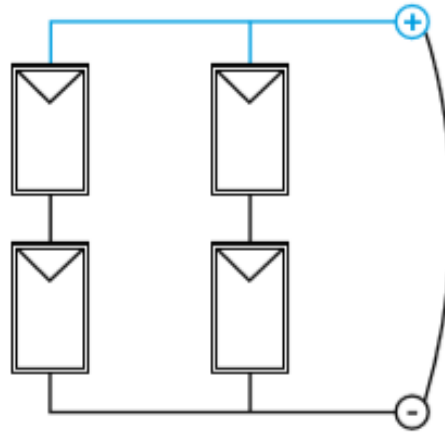


Figura 7.- Connexió de quatre mòduls, en connexió mixta. Font: ICAEN. Institut Català d'Energia.

4.3.- ESTRUCTURES DE SUPORT DELS PANELLS FOTOVOLTÀICS.

Als sistemes autònoms, es gairebé nul·la la presència d'estructures amb seguiment solar. L'elevat cost que aquestes estructures tenen, amb el fet que en circumstàncies d'excés de generació o escàs consum, les bateries es troben plenes, amb la qual cosa, aquestes no es poden carregar més i el generador ha de desconnectar-se.

A la pràctica, les estructures de suport fixen els panells solars en una posició fixa durant tot l'any angle òptim, es a dir, aquell angle que permetrà la màxima producció d'energia.

Les estructures han de resistir les condicions ambientals, preferentment estan fabricades amb materials com l'acer galvanitzat o alumini.

En sistemes molt petits, aquests poden ser col·locats sobre un pilar amb l'objectiu d'evitar possibles ombres i seguretat enfront a vandalisme.

5.- ACUMULADOR D'ENERGIA.

A les instal·lacions autònomes, aïllades de la xarxa elèctrica, es fa necessària la instal·lació d'un sistema d'acumulació d'energia, per assegurar el subministrament elèctric en períodes en els quals la demanda de consum superi a la generació.

Existeixen diverses tecnologies d'acumuladors electroquímics recarregables al mercat. En aquest treball, em centraré en les bateries de plom-àcid, per ser des del punt de vista tècnic, les que millor s'adapten a les característiques dels sistemes fotovoltaics autònoms. L'energia fotovoltaica generada als mòduls fotovoltaics es transforma en energia química a l'interior de les bateries, per la seva posterior transformació de nou en energia elèctrica quan es requereixi un consum.

Quant al seu ús, podem diferenciar diferents tipus d'acumuladors:

- **Estacionaris:** acostumen a estar en un lloc fix i proporcionen corrent elèctric de manera permanent o esporàdica per a diverses finalitats. En cap moment, però, se'ls demana que donin valors d'intensitats elevades en temps curts.
- **D'arrencada:** s'encarreguen de produir energia elèctrica amb valors d'intensitat de corrent elevats durant temps curts, per exemple, en els dels cotxes cada vegada que s'engeguen, o bé quan s'arrenca un motor. Les plaques dels elèctrodes d'aquests acumuladors tenen més gruix que els dels estacionaris i la seva vida útil és més curta a causa de les "dures" condicions de treball.
- **De tracció:** s'encarreguen de proporcionar corrent a petits vehicles elèctrics i, per tant, se'ls demana unes intensitats de corrent relativament altes durant períodes d'algunes hores.



Figura 8.- acumulador estacionari. Font: Institut Català d'Energia.

Per a les instal·lacions solars fotovoltaïques, cal utilitzar preferentment els acumuladors estacionaris. Pel que fa a les característiques de l'electròlit, en tenim de tipus:

- Àcid (de plom-àcid , Pb-Sb, Pb-Cd).
- Alcalí (níquel-cadmi).

5.1.- Principals paràmetres d'un acumulador elèctric.

- **Capacitat:** màxima quantitat d'electricitat que pot emmagatzemar. A la pràctica, i per a evitar danys irreversibles a la bateria, tan sols pot proporcionar una part de la capacitat total, que anomenem capacitat útil. La capacitat útil depèn del tipus d'acumulador i de les condicions de treball, però sol tenir valors des del 30% fins a més del 90% (en acumuladors alcalins de bona qualitat) de la capacitat màxima. La quantitat d'electricitat que pot proporcionar un acumulador també depèn del temps de descàrrega, de manera que la capacitat serà més gran com més lentament es produeixi la descàrrega. La capacitat de la bateria s'expressa en Amperes · hora (Ah). Amb la notació C5, C25, C100 es representa el temps de descàrrega en hores, respectivament 5, 25 o 100 (C5 = descàrrega en 5 hores). Aquests valors ens donen el nombre d'hores durant les quals teòricament podríem disposar d'una intensitat de corrent determinada procedent de l'acumulador.
- **Profunditat de descàrrega:** és el tant per cent sobre la capacitat màxima de l'acumulador que es pot extreure de la bateria en condicions normals.
- **Vida útil:** se sol mesurar en cicles (més que en anys), de manera que un cicle és un procés complet de càrrega-descàrrega (fins a arribar a la profunditat de descàrrega recomanada). Si suposem un cicle mitjà d'un cicle per dia i un acumulador ben mantingut, hauria de durar un mínim de 10 anys.
- **Auto descàrrega:** és un fenomen pel qual un acumulador, per causes diverses, es descarrega lentament però de manera contínua encara que no estigui connectat a un circuit extern.

6.- REGULADOR DE CÀRREGA.

El regulador de càrrega protegeix les bateries, evitant que aquestes funcionin en estats de sobrecàrrega o sobre descàrrega excessiva, el que donaria lloc a una degradació d'aquestes.

Els reguladors de càrrega estan formats bàsicament per dos interruptors que actuen sobre les línies generador-bateria i bateria-consum. La resta de components interns,

serveixen per poder realitzar les funcions de regulació correctament en les condicions previstes i per evitar situacions accidentals o, al menys, evitar la seva propagació.

Així, el regulador detecta en quin estat es troben les bateries, i per comparació amb els valors de regulació prèviament fixats, aquest actuarà sobre les línies de càrrega o descàrrega de les bateries. Amb almenys tres parells de terminals: Positiu i negatiu de les línies de generador, bateria i consum; addicionalment, pot incloure un parell de terminals més per a la línia del sensor de tensió de bateria.

Sobre la coberta del regulador es poden mostrar diversos indicadors informadors de l'estat de la bateria, alarma davant una desconexió de consum pròxima, anomalies, o també valors numèrics de tensió, corrent, energia, etc.

6.1.- Paràmetres bàsics dels reguladors de càrrega.

- **Tensió nominal:** La tensió nominal del regulador, ha de ser igual a la tensió nominal de la bateria associada, perquè el regulador rep l'alimentació de la pròpia bateria. Per exemple 24 i 48 V.
- **Corrent màxima:** Un paràmetre fonamental dels reguladors de càrrega es el corrent màxim que pot circular per ell de forma segura, pel que fa a la línia de generació com de consum. Aquest valor ha de tenir-se molt en compte a l'hora de seleccionar un equip. El corrent màxim de disseny del regulador ha de ser superior a la corrent màxima del generador associat. (Corrent de curtcircuit), en condicions de màxima radiació. Tanmateix, ha de ser capaç de resistir la màxima corrent de consum de tots els aparells encesos o disposar d'un equip de protecció front a sobrecàrregues.

Per evitar problemes de fallades i accidents en condicions d'elevada temperatura, és comú seleccionar un regulador de càrrega sobredimensionat un 25%, en terminis de corrent màxima admissible.

Per una part, el controlador, regula la línia de càrrega (Generador-bateria) per aconseguir una recàrrega efectiva de la bateria sense que es sobrecarregui en excés, el que donaria lloc a un envelliment de la bateria.

Per altra banda, s'eviten descàrregues profundes de bateria, evitant que es continuï el consum quan s'assoleix un cert nivell de descàrrega, un cop carregada la bateria, es torna a permetre el consum.

7.- INVERSOR.

Els generadors fotovoltaics i eòlics proporcionen potència en continua. Quan es requereix una línia de consum per alimentar equips en corrent altern es fa necessari recórrer a un inversor DC/AC que realitzi la transformació.

Els inversors en instal·lacions autònomes presenten un comportament diferent als de connexió a xarxa.

En els inversors, la potència d'operació, és a dir , el règim de càrrega, no ve marcat per la potència que entrega el generador fotovoltaic, o l'aerogenerador si no per la potència instantània de consum.

En el cas d'instal·lacions domèstiques el perfil de consum és molt variable i en rares ocasions s'assoleixen els nivells màxims.

Així doncs, la corba d'eficiència de l'inversor ha de ser lo millor possible a tot el rang operatiu, essent inclús més important la zona de baixes potències que la potència nominal. Quan no hi ha consum, l'inversor únicament consumeix les anomenades pèrdues en buit, pel seu propi funcionament.

8.- CÀLCULS.

8.1.- DISSENY D'INSTAL·LACIONS AUTÒNOMES. DIMENSIONAT INICIAL DE LA INSTAL·LACIÓ SOLAR FOTOVOLTAICA.

En primer lloc, estimaré la potència nominal que hauria de tenir el generador , tant en el cas de fotovoltaica com en aerogenerador per produir l'energia consumida per la masia Com es tracta d'una casa aïllada i sense possibilitat de connexió a la xarxa elèctrica , necessitarà disposar d'un emmagatzematge extra en previsió d'aquells dies de baixa insolació, pluja, neu, etc. A continuació, els valors operatius bàsics de controlador de càrrega, inversor, i cablejat. Faré una selecció d'equips dins dels catàlegs de les marques més rellevants de fabricants del mercat fotovoltaic.

Faré servir el mètode càlcul del “**pitjor mes o mes més desfavorable**”. Consistirà en dissenyar la instal·lació per al mes més desfavorable, això es, pel mes de l'any el qual la relació entre la radiació solar prevista i el consum estimat sigui mínima.

Dissenyant la instal·lació en funció d'aquest mes més desfavorable, es d'esperar que durant la resta de l'any, funcioni millor, donat que hi haurà una millor generació elèctrica.

Els elements bàsics pel disseny d'aquesta instal·lació seran els següents:

- Consum estimat de la masia (Ldm):
- Recull de dades de radiació solar incident. Font: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>
Dades de l'any 2016. Radiació mes de disseny (Gdm):
- Consum estimat (Ldm):
- Factor de seguretat del generador (Fsg):
- Numero dies d'autonomia de les bateries (NAUT) i màxima descarrega (PDmax):
- Potencia del generador.
- Elecció dels components: Controlador de càrrega, inversor, estructures i cablejat elèctric i disseny final.

8.1.1- Dades de l'emplaçament.

Masia del segle XVIII amb cinc habitacions, 2 banys i dos salons de 25m² cadascun, amb cuina equipada i bodega. Situada a les afores de la població d'Òdena.

POBLACIÓ ÒDENA (2017)	3.614
SUPERFÍCIE (KM2)	52,66
ALTITUD (M)	421
LONGITUD (º)	1,641911
LATITUD (º)	41,607250

Taula 1.- Dades de l'emplaçament. Font IDESCAT.



Figura 8: Vista aèria de l'emplaçament.

8.1.2.- Estimació del consum elèctric de la masia.

En aquest punt, com la casa d'estudi no disposava de d'accés elèctric, realitzaré un llistat amb l'equipament elèctric de consum, la seva potencia i les hores diàries d'ús previst. D'aquesta forma, podré determinar l'energia diària que requereix la masia (Ldm, expressada en W·h/dia). Per altra banda, aquestes dades, em donaran el valor de la potència màxima de la instal·lació, en cas que tots els aparells funcionant alhora, $P_{MAX,C}$. Pels equips de consum en alterna, la potencia A_c ha de dividir-se pel rendiment de l'inversor, obtenint així la potencia corresponent en continua.

UNITATS	tipus	Potencia (W)	Hores d'utilització	Consum diari (Wh/dia)
5	Il·luminació(conv.)	100	2	1000
5	Il·luminació(conv.)	60	6	1800
5	Il·luminació(LED.)	5	8	200
5	Il·luminació(LED.)	28	8	1120
2	TV	130	4	1040
1	rentadora	450	0,3	135
1	Radio	40	3	120
2	PC	100	2	400
1	Calefacció per aire	1500	1,5	2250
1	Forn elèctric	2000	0,2	400
1	Frigorífic industrial	250	24	6000
TOTAL		4663		14465
				15068

Taula 2.- Estimació del consum elèctric de la masia. Font: Elaboració pròpia.

Autor: Francisco Lorenzo Martínez

Monthly Solar Irradiation PVGIS Estimates of long-term monthly averages

Latitude: 41°34'48" North,
Longitude: 1°55'51" East
Optimal inclination angle is: 34 deg.
Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 3.7 %

Month	Hh	Hopt	H(0)	Iopt	T24h	NDD
Jan	1860	3080	1860	62	4.6	286
Feb	2810	4160	2810	55	5.0	241
Mar	4380	5570	4380	44	9.0	176
Apr	5360	5920	5360	29	12.9	108
May	6510	6440	6510	17	16.4	25
Jun	7290	6840	7290	9	20.7	9
Jul	7270	7000	7270	12	23.6	4
Aug	6210	6570	6210	24	23.0	7
Sep	4690	5680	4690	39	19.1	30
Oct	3300	4570	3300	51	15.0	92
Nov	2050	3250	2050	60	9.4	250
Dec	1630	2830	1630	65	5.2	299
Year	4460	5160	4460	34	13.7	1527

Hh: Irradiation on horizontal plane (Wh/m2/day)
Hopt: Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m2/day)
H(0): Irradiation on plane at angle: 0deg. (Wh/m2/day)
Iopt: Optimal inclination (deg.)
T24h: 24 hour average of temperature (°C)
NDD: Number of heating degree-days (-)

Figura 9.- Radiació solar i potencial fotovoltaic. Font: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>.

Es pot observar a la figura 9 com la posició vertical redueix la incidència solar als mesos d'estiu, mentre que la posició horitzontal la minimitza a l'hivern. La posició de 34 graus, optimitza la recepció de radiació anual. S'observa com el mes més desfavorable és el mes de desembre.

8.1.3.- Generador fotovoltaic. Potencia del generador.

Fitxa tècnica dels panells fotovoltaics: SCHOOT inDax225	
Alçada (m)	0.999
Amplada (m)	1.72
Potencia màxima (Wp)	225
Nº de cel·les i connexions	60
Voltatge en curtcircuit obert V _{ca} (V)	36.7
Intensitat en curtcircuit I _{cc} (A)	8.24
Voltatge màxim d'alimentació (V)	29.8
Corrent màxim d'alimentació (A)	7.26
Voltatge del sistema (V CC)	1000
α_{Pm} (%/°C)	-0.45
α_{Isc} (%/°C)	0.053
α_{Voc} (mV/°C)	-156
Temperatura de funcionament (°C)	-40 up to +90
Temperatura d'emmagatzematge (°C)	-40 up to +90

Taula 3.- Fitxa tècnica dels panells fotovoltaics: SCHOOT inDax225. Font: Schoot.

El generador sota la insolació mitja de treball, ha de ser capaç de subministrar la demanda energètica de la masia, aquesta, serà incrementada amb un factor de seguretat F_{SG} .

$$P_{NOM,G} = \frac{L_{dm} \cdot F_{SG}}{(G_{dm}(\alpha)/G_{CEM}} \quad (\text{Eq.6})$$

$$E_{generada} = E_{demandada} \cdot F_{SG} \rightarrow P_{NOM,G} \cdot \left(\frac{G_{dm}(\alpha)}{G_{CEM}} \right) = L_{dm} \cdot F_{SG} \quad (\text{Eq.7})$$

On:

- $G_{CEM} = \frac{1000W}{m^2} = \text{Irradiació en condicions estàndard de mesura.}$
- $G_{dm}(\alpha) = \text{Irradiació del mes més desfavorable.}$
- $L_{dm} = \text{Consum estimat de la vivenda } \left(\frac{W}{h \cdot dia} \right)$
- $F_{SG} = \text{Factor de seguretat.}$

El rang habitual del factor de seguretat es troba entre 1.1 i 1.5, amb valors inferiors per zones meteorològiques més uniformes i per aplicacions no crítiques, en les quals una falta de subministrament no fos molt greu. Els valors més elevats de factor de seguretat, es fixaran en zones amb insolació més variable, en general, aquelles amb pitjor clima i per aplicacions, on una fallada del subministrament pot ser crítica.

Un factor de seguretat més elevat, implica un dimensionat més gran de la instal·lació el que suposaria un increment del cost total de la instal·lació.

En aquest estudi he triat un factor de seguretat de 1.10. Per una banda, és una zona meteorològica estable i no es tracta d'una aplicació crítica.

$$P_{NOM,G} = \frac{15068 \frac{W}{h \cdot dia} * 1.10}{\frac{2830W/m^2}{1000W/m^2}} = 5857Wp$$

$$\text{Superfície ocupada per mòdul} = 0,999m \cdot 1,72m = 1,72m^2$$

$$\frac{1000W}{225W} = 4,44 \cdot 1,72m^2 = \frac{7,63m^2}{kWp}$$

$$\frac{\text{Potència total de la planta (Wp)}}{\text{Potència per mòdul}} = \text{Núm. provisional de mòduls}$$

$$\text{Número provisional de mòduls} = \frac{5857Wp}{225Wp} = 26.0$$

La **Pn,G** és superior a la potència màxima d'entrada admesa per l'inversor. Tenint en compte que en cas de que es produís una demanda total, és a dir, tots els aparells elèctrics de la masia funcionant a l'hora, la potencia de sortida requerida seria de 4663Wp.

8.1.3.1.- Configuració dels panells fotovoltaics 1: Ns=13 ; Np=2

$$V_{PMP} = N_S \cdot V_{PMP,panel} \text{ (Eq. 8)} = 13 \cdot 29,8V = 387,4V$$

$$V_{OC} = N_S \cdot V_{OC,panell} \text{ (Eq. 9)} = 13 \cdot 36,7V = 477,1V$$

$$I_{PMP} = N_P \cdot I_{PMP,panell} \text{ (Eq. 10)} = 2 \cdot 7,26A = 14,52A$$

$$I_{SC} = N_P \cdot I_{SC,panell} \text{ (Eq. 11)} = 2 \cdot 8,24A = 16,48A$$

8.1.3.2.- Configuració dels panells fotovoltaics 2: Ns=2 ; Np=13

$$V_{PMP} = N_S \cdot V_{PMP,panel} \text{ (Eq. 8)} = 2 \cdot 29,8V = 29,8V$$

$$V_{OC} = N_S \cdot V_{OC,panell} \text{ (Eq. 9)} = 2 \cdot 36,7V = 73,4V$$

$$I_{PMP} = N_P \cdot I_{PMP,panell} \text{ (Eq. 10)} = 13 \cdot 7,26A = 94,38A$$

$$I_{SC} = N_P \cdot I_{SC,panell} \text{ (Eq. 11)} = 13 \cdot 8,24A = 107,12A$$

A partir de les dues configuracions , es pot observar, com quants més mòduls en sèrie es connecten, més gran és la tensió. Donat que a tensions majors, suposa menys pèrdues per conducció, l'opció 1 de dues fileres de tretze mòduls cadascuna, és preferible a la de 2 files en paral·lel de 13 mòduls cadascuna. Per altra banda, la connexió en sèrie suposa un muntatge més ràpid i senzill.

8.1.4- Inversor.

L'inversor haurà de tenir una tensió nominal igual a la fixada pel conjunt del sistema, V_{nom} .

La potencia màxima requerida pel sistema, en cas de que tots els aparells de la casa estiguessin funcionant alhora seria de: 4663W. La potencia de sortida de l'inversor podria satisfer aquesta demanda de forma puntual, donat que la potencia màxima de sortida en CA es de 5000W. El rang de treball de l'inversor, es troba entre els 120V i 450 V. Al col·locar les 3 bateries en sèrie, el voltatge serà de 144V.

FITXA TECNICA INVERSOR: ZIGOR Sunzet 5 TL	
Valors d'entrada (CC)	
Potencia màx. De CC (kW)	5
Tensió màx. De CC (V)	500
Rang de tensió fotovoltaica, MPPT(a potencia nominal) entrada A mínima (V)	120
Rang de tensió fotovoltaica, MPPT(a potencia nominal) entrada A màxima(V)	450
Imàx. De entrada A(A)	2·17.65A
Valors de sortida (CA)	
Potencia nominal de CA (kW)	5
Potencia màx. De CA (kW)	5
Corrent màx. De sortida	21.7A
Tensió nominal de CA	3X400
Eficiència (%)	96
TONC	47

Taula 4.- Fitxa tècnica de l'inversor: ZIGOR Sunzet 5 TL

8.1.5.- Dimensionat de les bateries.

Les bateries, s'han de dimensionar de forma que garanteixin el subministrament elèctric durant un determinat període de temps en absència de radiació solar. S'estableix un factor de seguretat d'emmagatzematge o número de dies d'autonomia. El locals en els quals s'han de disposar les bateries es consideren locals amb risc de corrosió i acumulació de gasos explosius a efectes del compliment de la normativa elèctrica , i hauran de complir les prescripcions corresponents. Aquesta corrosió be derivada de la possibilitat que les bateries en desprenguin gasos com ara l'hidrogen.

Com ja he comentat en punts anteriors, per molt bé que s'hagi tractat d'estimar la radiació diària incident, es tracta de dades recollides en anys anteriors, sobre la mateixa zona, mantenint-se el dubte sobre el que pot succeir en un futur.

El número de dies d'autonomia recomanable se situa entre 2 a 10 dies, depenent del lloc geogràfic i del tipus d'aplicació.

L'Energia útil o capacitat d'emmagatzematge de la bateria, s'obté:

$$E_{disponible(W \cdot h)} = E_{demandada} \frac{W \cdot h}{dia} \cdot N_{AUT}(dies) \rightarrow C_{util}(W \cdot h) = L_{dm} \cdot N_{AUT} \quad (Eq.12)$$

Per perllongar la vida de la bateria, aquesta, només podrà descarregar-se fins a un cert nivell **“profunditat màxima de descàrrega”** PD_{MAX} .

En aquest estudi, consideraré una $PD_{MAX} = 80\%$ i $N_{AUT} = 4$.

La capacitat nominal de la bateria, s'obté:

$$C_{B,NOM}(W \cdot h) = \frac{L_{dm} \cdot N_{AUT}}{PD_{MAX}} \quad (Eq.13)$$

$$C_{B,NOM}(W \cdot h) = \frac{L_{dm} \cdot N_{AUT}}{PD_{MAX}} = \frac{4 * 15068 \frac{W \cdot h}{dia}}{0,8} = 75339 W \cdot h$$

$$C_{B,NOM}(A \cdot h) = \frac{C_{B,NOM}(A \cdot h)}{V_{NOM}} \quad (Eq.14)$$

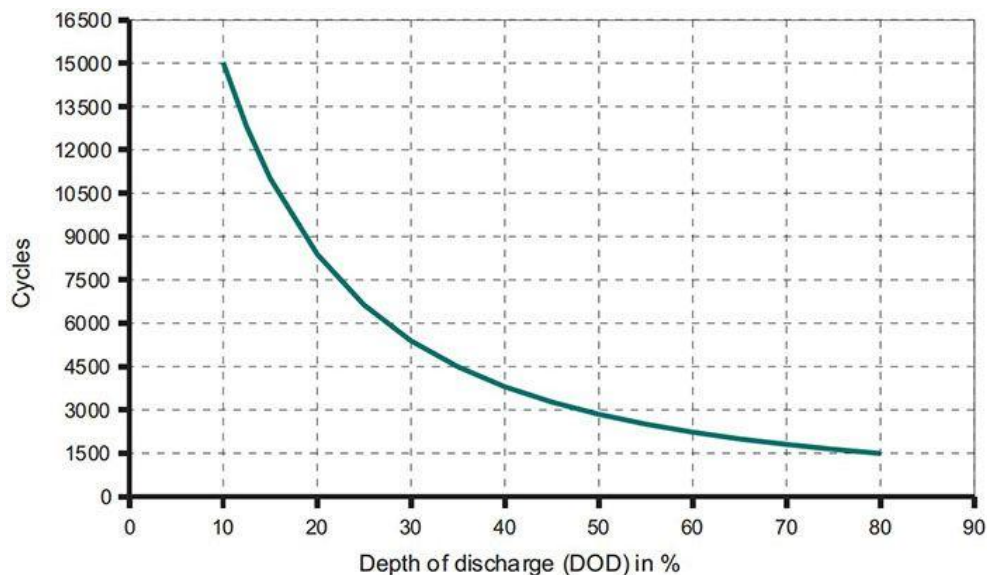
$$C_{B,NOM}(A \cdot h) = \frac{C_{B,NOM}(A \cdot h)}{V_{NOM}} = \frac{75339 W \cdot h}{48V} = 1570 A \cdot h$$

D'entre tots els models disponibles ha de seleccionar-se una bateria amb una capacitat similar a la capacitat estimada. Essent crucial fixar-se en la descàrrega màxima fixada pel fabricant.

Donat que el rang de tensió d'entrada de l'inversor des de les bateries és de 120 V - 450V i les bateries són de 48V. Es connecten 3 bateries en sèrie per aconseguir 144V.

Característiques de la bateria GEL 48V 1600Ah BAE C100. Fabricant: BAE.
Voltatge de la Bateria: 48V
Mides de la Bateria: 215 x 235 x 710 mm cada vas estacionari
Posició de Trabajo de la Bateria: Bornes en la part superior
Ampers-Hora de la Bateria: 1600Ah
Garantia de la Bateria: 2 anys (a partir de los 6 meses con peritatge industrial)
Preu bateria: 10000€

Taula 5.- Característiques de la bateria. Font: BAE.



Gràfic 4. Número de cicles de vida en funció del percentatge de descàrrega. Font: Bae.

8.1.6- Controlador de càrrega.

El controlador de càrrega haurà de tenir una tensió nominal igual a la fixada pel conjunt del sistema, V_{nom} .

Ha de ser capaç de resistir la màxima corrent de circulació en condicions d'operació normals, tant pel que fa a la línia de generació com a la de consum. Se sol introduir un factor de seguretat del 25% preveient condicions d'elevada temperatura, pels que la dissipació de calor dels components semiconductors (MOSFET, IGBT) es veu dificultada. A la línia de consum el corrent màxim a la línia de generació serà:

$$I_{controlador} \geq 1.25 \cdot N_{paral\cdot lel} \cdot I_{SC,panellSolar} \quad (Eq.15)$$

$$I_{controlador} \geq 1.25 \cdot N_{paral\cdot lel} \cdot I_{SC,panellSolar} = 1,25 \cdot 2 \cdot 8,24A = 20.6A$$

Regulador Carga 60A Solar TS60 Morningstar
<ul style="list-style-type: none"> Voltatge de treball del Regulador: Compatible amb instal·lacions a 12V, 24V y 48V
<ul style="list-style-type: none"> Ampers Màxims de Càrrega del Regulador: 60A
<ul style="list-style-type: none"> Consum en buit del Regulador: Menys de 1W
<ul style="list-style-type: none"> Sortida de consum en DC: Sortida a 12V en el cas de disposar de panells i bateries a 12V. En el cas de disposar de Sortida de Consumo en DC: Sortida a 48V en cas de disposar de panells i bateries a 48V.

Taula 6. Regulador de càrrega solar. TS60 Morningstar.

8.1.7.- Instal·lació elèctrica general. Secció dels conductors.

Les línies que connecten els diferents equips del sistema han de complir una sèrie de paràmetres.

Han de ser capaços de suportar el corrent màxim operatiu. A la línia de gernació serà;

$$I_{SC} = N_p \cdot I_{SC,panell} \quad (\text{Eq.11})$$

La caiguda de tensió per a un cable elèctric , serà:

$$\Delta V = 2\rho \frac{L}{S} I \quad (\text{Eq.16})$$

On:

- $\rho(\Omega mm^2/m)$ = resistivitat.
- $L(m)$ = Longitut.
- $I(A)$ = Corrent.
- $\Delta V(V)$ = Caiguda de tensió.
- $S(mm^2)$ = Secció del cable.

Subsistema	Caiguda de tensió màxima	Recomanada
Panells – Regulador	3%	1%
Regulador – Bateries	1%	0,5%
Bateries – Inversor	1%	1%

Taula 7.- Caigudes màximes de tensió en cables elèctrics, segons IDAE. Font: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

El paràmetre de caiguda de tensió màxima està expressat en percentatge respecte a la tensió nominal.

$$v_{max} = \frac{\Delta V_{max}}{V_{NOM,sistema}} \cdot 100 \quad (\text{Eq.15})$$

Suposaré per a l'estudi les següents distàncies entre els equips que conformen la instal·lació:

- Generador fotovoltaic - Caixa de connexions : 10m.
- Caixa de connexions – Regulador de càrrega : 4m.
- Regulador de càrrega – Bateries: 2m.
- Bateries – Inversor: 2m.

$$I_{SC} = N_p \cdot I_{SC,panell} \quad (\text{Eq.11})$$

$$I_{SC} = N_p \cdot I_{SC,panell} = 2 \cdot 8,24A = 16,48A$$

$$\rho_{Cu} \left(\frac{\Omega mm^2}{m} \right) = 0,017 \Omega mm^2 / m$$

Per al tram Generador fotovoltaic - Caixa de connexions la secció mínima, serà:

$$S_{min} = \frac{2 \cdot \frac{0,017 \Omega mm^2}{m} \cdot 10m \cdot 16,48A}{0,03 \cdot 48V} = 3,95 mm^2$$

Triant una secció de cable de coure de 4 mm²; Cable multi conductor en conductes enterrats, columna 3 de la figura 11. Per a la secció triada, el corrent màxim admissible es de 21 A, superior al corrent màxim que podria circular per aquests.

Per al tram Caixa de connexions – Regulador de càrrega la secció mínima , serà:

$$S_{min} = \frac{2 \cdot \frac{0,017 \Omega mm^2}{m} \cdot 4m \cdot 16,48A}{0,02 \cdot 48V} = 2,37 mm^2$$

Per al tram Regulador de càrrega – Bateries la secció mínima , serà:

$$S_{min} = \frac{2 \cdot \frac{0,017 \Omega mm^2}{m} \cdot 2m \cdot 16,48A}{0,01 \cdot 48V} = 2,37 mm^2$$

Per al tram Bateriaes – Inversor la secció mínima, serà:

$$S_{min} = \frac{2 \cdot \frac{0,017 \Omega mm^2}{m} \cdot 2m \cdot 16,48A}{0,01 \cdot 48V} = 2,37 mm^2$$

La secció per a tots els trams de la instal·lació serà de $4 mm^2$. Donat que triant el diàmetre immediatament superior al de $2,37 mm^2$ a la taula ($3 mm^2$) intensitat màxima que suportaria el cable és inferior a la de curtcircuit.

Número de conductores con carga y naturaleza del aislamiento													
A1			PVC3 70 °C	PVC2 70 °C		XLPE3 90 °C	XLPE2 90 °C						
A2		PVC3 70 °C	PVC2 70 °C		XLPE3 90 °C	XLPE2 90 °C							
B1					PVC3 70 °C	PVC2 70 °C		XLPE3 90 °C		XLPE2 90 °C			
B2				PVC3 70 °C	PVC2 70 °C		XLPE3 90 °C	XLPE2 90 °C					
C						PVC3 70 °C		PVC2 70 °C	XLPE3 90 °C		XLPE2 90 °C		
D*		VER SIGUIENTE TABLA											
E							PVC3 70 °C		PVC2 70 °C	XLPE3 90 °C		XLPE2 90 °C	
F								PVC3 70 °C		PVC2 70 °C	XLPE3 90 °C		XLPE2 90 °C
Cobre	mm ²	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	16,5	19	20	21	24	25
	2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	23	26	26,5	29	33	34
	4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45	46
	6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	49	57	59
	10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68	76	82
	16	45	49	54	59	66	70	73	81	87	91	105	110
	25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116	123	140
	35	72	77	86	96	104	110	119	127	137	144	154	174
	50	86	94	103	117	125	133	145	155	167	175	188	210
	70	109	118	130	149	160	171	185	199	214	224	244	269
	95	130	143	156	180	194	207	224	241	259	271	296	327
	120	150	164	188	208	225	240	260	280	301	314	348	380
	150	171	188	205	236	260	278	299	322	343	363	404	438

Figura 10.- intensitats màximes admissibles. Font: Norma UNE 20.460-5-523 a la que fa referencia la Taula A, de la Guia ITC-BT 19.

8.1.8.- Estructura de suport dels panells fotovoltaics.

Els panells fotovoltaics s'instal·laran al sostre de la masia. Per les característiques d'aquest, s'instal·la una estructura metàl·lica d'alumini anoditzat.

Característiques de l'estructura:

- Constituïda per un sistema modular cargolat adaptada a la inclinació del sostre, més els graus d'inclinació necessaris per a aconseguir la inclinació òptima de 34 graus. Amb flexibilitat de muntatge que permeti variar l'angle d'inclinació.
- L'estructura es projecta per suportar vents de fins a 145km/h.

Dimensions	Especificacions mecàniques
Llargada: 23m	Estructura : Alumini anoditzat.
Amplada: 2,5m	Cargols: Acer alta qualitat; M10.8 -M10.9
Alçada: 0,15m	Velocitat del vent: 145 km/h

Taula 8.- Estructura de suport. Font: Elaboració pròpia.

8.1.9.- Anàlisi energètic.

El rendiment global del sistema fotovoltaic o *performance ratio PR*, s'expressa:

$$PR = \frac{E_{AC}}{Ga \left(\frac{P_{nom,G}}{G_{CEM}} \right)} \quad (Eq.16)$$

El PR, es el rendiment efectiu, sumant totes les pèrdues:

- Pèrdues per brutícia a les plaques fotovoltaïques: $\approx 3\%$
- Pèrdues per ombres: $\approx 2,5\%$
- Pèrdues per error en els valors de referencia: $\approx 3\%$
- Pèrdues per temperatura de la cèl·lula (Calculades).
- Pèrdues per cablejat AC i CC: $\approx 3\%$
- Eficiència de l'inversor (Segons fabricant).

8.1.9.1- Pèrdues per temperatura de les cèl·lules.

Les pèrdues per temperatura de les cel·les fotovoltaïques, seran:

$$AP_{mes_any} = T_K(P_N)[\%/^{\circ}C] * (25 - T_C) \quad (Eq. 17)$$

$$T_C = T_{m,amb} + (TONC - 20) * \frac{E}{800W} Gdm_{mesany} \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (Eq. 16)$$

On:

- TONC: Temperatura d'operació nominal de la cel·la considerant les següents condicions: Irradiació: 800W/m², Velocitat del vent 1m/s i una distribució espectral de AM=1.5. En els panells solars emprats en aquest projecte no s'especificava la TONC. He suposat un valor de 47°C, valor comú a les cel·les de silici.
- $T_k(P_n)[\%/^{\circ}\text{C}]$: Fitxa tècnica del fabricant: $-0,45\%/^{\circ}\text{C}(T_c - 25^{\circ}\text{C})$.
- $Gdm_{mes_any}(\frac{W}{m^2})$ = Irradiació mitja del mes.

Exemple de càlcul de les pèrdues que es produeixen al mes de gener. Per als altres mesos, els resultats es mostren a la **Taula 9**.

$$T_c = T_{m,amb} + (TONC - 20) * \frac{E}{\frac{800W}{m^2}} Gdm_{mes_any} \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (Eq. 16)$$

$$T_c = 8.6^{\circ}\text{C} + \frac{47^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}}{\frac{800W}{m^2}} \cdot \frac{289W}{m^2} = 18.4^{\circ}\text{C}$$

$$AP_{mes_any} = T_k(P_n)[\%/^{\circ}\text{C}] * (25 - T_c) \quad (Eq. 17)$$

$$AP_{mes_any} = T_k(P_n)[\%/^{\circ}\text{C}] * (25 - T_c) = -0,45\%/^{\circ}\text{C}(25^{\circ}\text{C} - 18,4^{\circ}\text{C}) = 2,97\%$$

Mes	Valors mitjos d'irradiació (W/m2)	Temperatura mitja durant les hores de sol (°C)	Temperatura de la cel·la (°C)	Pèrdues per temperatura de la cel·la (%)	Pèrdues per brutícia (%)	Pèrdues al cablejatDC (%)	Pèrdues a l'inversor (%)
GENER	289	8,6	18,4	2,977	0,03	0,03	0,04
FEBRER	359	8,5	20,6	1,990	0,03	0,03	0,04
MARÇ	442	11,1	26,0	0,463	0,03	0,03	0,04
ABRIL	424	14,0	28,3	1,474	0,03	0,03	0,04
MAIG	444	17,0	32,0	3,146	0,03	0,03	0,04
JUNY	461	21,0	36,5	5,187	0,03	0,03	0,04
JULIOL	484	24,0	40,3	6,887	0,03	0,03	0,04
AGOST	468	23,8	39,7	6,594	0,03	0,03	0,04
SETEMBRE	429	21,0	35,5	4,727	0,03	0,03	0,04
OCTUBRE	437	17,8	32,5	3,393	0,03	0,03	0,04
NOVEMBRE	294	13,0	22,9	0,943	0,03	0,03	0,04
DECEMBRE	266	9,9	18,8	2,769	0,03	0,03	0,04

Taula 9.- Valors mitjos d'irradiació solar per als diferents mesos de l'any. Font: Elaboració pròpia.

8.1.9.2.- Producció anual esperada.

$$PR = \frac{E_{AC}}{Ga \left(\frac{P_{nom,G}}{G_{CEM}} \right)} \quad (Eq. 15)$$

8.1.9.2.1.- Exemple de càlcul per al mes de gener, per a la resta de mesos es mostra a la taula 11.

$$PR_{Gener} = 1 - (Pèrdua per temperarura cel \cdot la + Pèrdues per brutícia + Pèrdues al cablejat + Pèrdues a l'inversor) \quad (Eq.18)$$

$$PR_{Gener} = 1 - (0,030 + 0,030 + 0,03 + 0,04) = 0,870$$

$$E_{AC,mes} = PR_{mes} \cdot G_{a,mes} \cdot \left(\frac{P_{nom,G}}{G_{CEM}} \right) \quad (Eq. 19)$$

$$E_{AC,Gener} = 0,870 \cdot 3080W \cdot \frac{h}{dia \cdot m^2} \cdot \left(\frac{5857Wp}{1000W \cdot h/m^2} \right) = 15,70kW \cdot h/dia$$

Tenint en compte que el mes de gener te 31 dies, la producció mensual al mes de gener, serà:

$$\frac{15,70kW}{dia} * 31 dies = 486,63kW \cdot h/mes$$

Mes	Gdm(kWh/m2dia)	PR	Eac(kW·h/día)	dies /mes	Eac(kW·h/mes)
Gener	3,08	0,870	15,70	31	486,63
Febrer	4,16	0,880	21,44	28	600,39
Març	5,57	0,895	29,21	31	905,47
Abril	5,92	0,885	30,69	30	920,81
Maig	6,44	0,869	32,76	31	1015,53
Juny	6,84	0,848	33,98	30	1019,28
Juliol	7	0,831	34,07	31	1056,29
Agost	6,57	0,834	32,09	31	994,90
Setembre	5,68	0,853	28,37	30	851,01
Octubre	4,57	0,866	23,18	31	718,59
Novembre	3,25	0,891	16,95	30	508,54
Desembre	2,83	0,872	14,46	31	448,20
Producció anual	5,16	0,866			9525,64

Taula 10.- Estimació de l'energia produïda per la instal·lació. Font: Elaboració pròpia.

Mes	Valors mitjos d'irradiació W/m2	Temperatura mitja durant les hores de sol	Temperatura de la cel·la	Pèrdues per temperatura de la cel·la	Pèrdues per brutícia	Pèrdues per ombrejat	Pèrdues al cablejar DC	Pèrdues a l'inversor	PR
GENER	289	8,6	18,4	0,030	0,03	0	0,03	0,04	0,870
FEBRER	359	8,5	20,6	0,020	0,03	0	0,03	0,04	0,880
MARÇ	442	11,1	26,0	0,005	0,03	0	0,03	0,04	0,895
ABRIL	424	14,0	28,3	0,015	0,03	0	0,03	0,04	0,885
MAIG	444	17,0	32,0	0,031	0,03	0	0,03	0,04	0,869
JUNY	461	21,0	36,5	0,052	0,03	0	0,03	0,04	0,848
JULIOL	484	24,0	40,3	0,069	0,03	0	0,03	0,04	0,831
AGOST	468	23,8	39,7	0,066	0,03	0	0,03	0,04	0,834
SETEMBRE	429	21,0	35,5	0,047	0,03	0	0,03	0,04	0,853
OCTUBRE	437	17,8	32,5	0,034	0,03	0	0,03	0,04	0,866
NOVEMBRE	294	13,0	22,9	0,009	0,03	0	0,03	0,04	0,891
DECEMBRE	266	9,9	18,8	0,028	0,03	0	0,03	0,04	0,872

Taula 11.- Pèrdues por temperatura de cel·la, brutícia, cablejat i a l'inversor. Font: Elaboració pròpia.

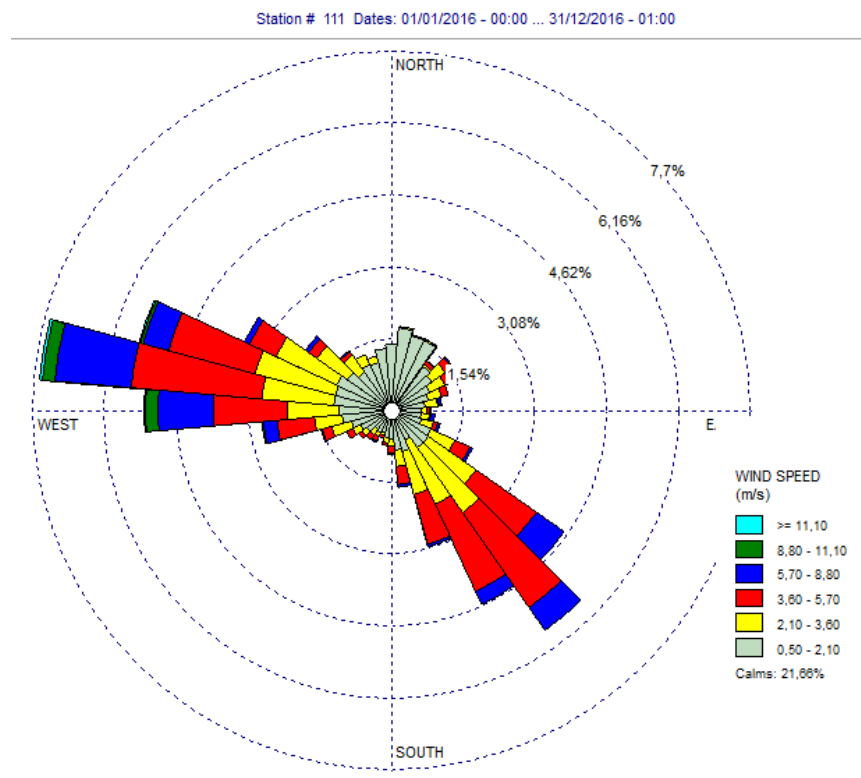
	GENER		FEBRER		MARÇ		ABRIL		MAIG		JUNY		JULIOL		AGOST		SETEMBRE		OCTUBRE		NOVEMBRE		DECEMBRE	
Time	W/m ²	Td °C	W/m ²	Td °C	W/m ²	Td °C	W/m ²	Td °C	W/m ²	Td °C	W/m ²	Td °C	W/m ²	Td °C	W/m ²	Td °C	W/m ²	Td °C	W/m ²	Td °C	W/m ²	Td °C	W/m ²	Td °C
5:07	0	6,5	0	5,6	0	7,9	0	10,6	14	13,4	17		20	20,5	0	20,5	0	17,9	0	15	0	10,8	0	7,8
6:07	0	6,5	0	5,6	0	8	38	10,9	66	13,8	66	17,8	65	20,8	48	20,7	13	18	0	15,1	0	10,8	0	7,8
7:07	0	6,6	17	5,9	132	8,5	173	11,6	208	14,7	180	18,5	217	21,5	196	21,4	144	18,6	68	15,6	0	11,1	0	7,9
8:07	149	6,9	243	6,5	345	9,4	353	12,7	385	15,7	362	19,5	413	22,4	391	22,4	341	19,5	270	16,4	174	11,7	124	8,3
9:07	355	7,5	446	7,3	550	10,4	522	13,7	550	16,7	537	20,5	598	23,4	574	23,3	530	20,4	461	17,3	365	12,3	329	8,9
10:07	511	8,3	609	8,2	712	11,3	656	14,5	680	17,5	682	21,3	747	24,3	720	24,2	682	21,3	613	18,1	514	13,1	477	9,7
11:07	612	9,2	715	9,2	818	12,1	742	15	765	18,1	782	21,9	844	25	815	24,9	781	22,1	711	18,8	611	13,8	572	10,6
12:07	651	10	756	10	859	12,7	776	15,4	798	18,4	831	22,3	882	25,5	852	25,4	820	22,6	750	19,3	649	14,3	609	11,3
13:07	628	10,5	731	10,6	834	13,1	756	15,7	778	18,7	824	22,6	859	25,8	830	25,7	797	22,9	727	19,7	626	14,7	587	11,7
14:07	542	10,7	641	10,8	744	13,1	682	15,7	706	18,7	762	22,7	776	25,9	749	25,8	712	23	643	19,8	544	14,8	506	11,9
15:07	399	10,5	492	10,5	595	12,9	559	15,6	586	18,6	650	22,6	639	25,7	615	25,5	573	22,7	504	19,5	407	14,5	371	11,6
16:07	207	9,8	296	9,9	399	12,4	398	15,1	428	18,2	496	22,2	462	25,2	439	25,1	390	22,2	320	18,8	224	13,8	186	10,9
17:07	0	9	79	9	183	11,7	217	14,5	251	17,6	316	21,7	265	24,6	244	24,4	191	21,5	119	18	0	13,1	0	10
18:07	0	8,2	0	8,2	15	11	59	13,8	89	16,8	138	21,1	88	23,8	71	23,6	27	20,8	0	17,3	0	12,4	0	9,4

Taula 12.- Irradiació global estimada cada hora, els diferents dies de cada mes de l'any, considerant la orientació òptima de l'emplaçament d'estudi. Font : Elaboració pròpia.

8.2.- DISSENY D'INSTAL·LACIONS AUTÒNOMES. DIMENSIONAT INICIAL DE LA INSTAL·LACIÓ EÒLICA.

8.2.1.- Rosa dels vents de l'emplaçament.

A partir de les dades de velocitat i direcció del vent facilitades per l'estació meteorològica d'Òdena, vaig elaborar amb el programa *WrPlot* la rosa dels vents de l'emplaçament d'estudi.



Gràfic 5. Exemple de rosa dels vents de la població d'Òdena. Font. Elaboració pròpia.

Programa de llicència lliure: *WrPlot*

L'observació de la rosa dels vents és extremadament útil a l'hora de situar un aerogenerador, donat que una gran part de l'energia del vent, bé d'una direcció particular, el que voldrem, al col·locar l'aerogenerador, serà tenir la quantitat més petita d'obstacles en aquesta direcció i un terreny el més pla possible. La major part de l'energia del vent vindria del sud-oest, per la qual cosa, els obstacles situats a l'est o al sud-est de l'aerogenerador, donat que quasi no arribaria energia des de aquestes direccions.

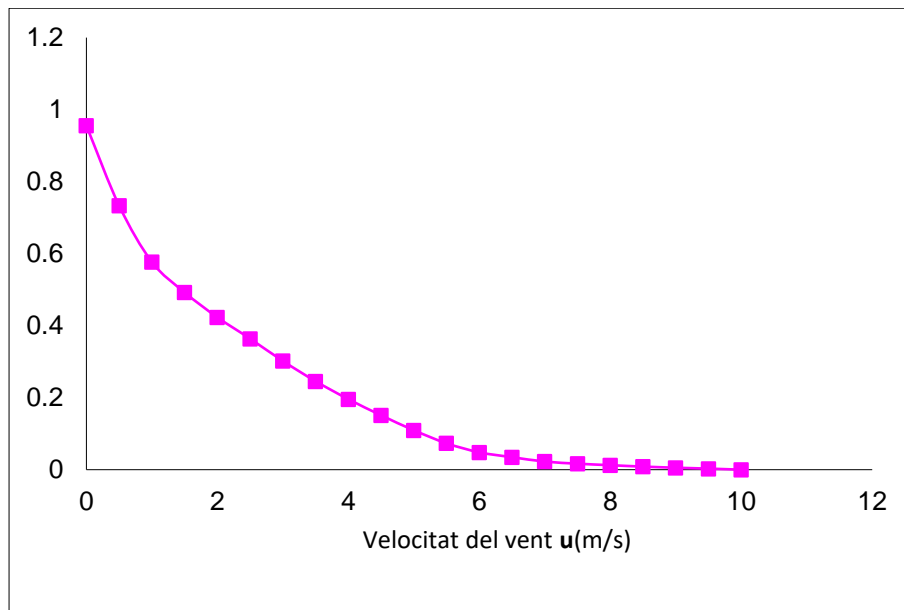
8.2.2.- Funció de probabilitat.

La funció de probabilitat s'obté dividint el numero d'hores o dies a l'any que se supera una determinada velocitat del vent, dividit pel número d'hores que te l'any o dies que te aquest.

En aquest estudi, les dades de velocitat i direcció del vent varen ser preses cada mitja hora durant tot l'any 2016.

Velocitat del vent u(m/s)	Hores any	Funció de probabilitat F(V)
0	16784	0,95537341
0,5	12881	0,73320811
1	10136	0,57695811
1,5	8651	0,49242942
2	7435	0,42321266
2,5	6392	0,36384335
3	5303	0,30185565
3,5	4316	0,24567395
4	3441	0,19586749
4,5	2656	0,15118397
5	1924	0,1095173
5,5	1288	0,07331512
6	849	0,0483265
6,5	610	0,03472222
7	399	0,02271175
7,5	293	0,01667805
8	220	0,01252277
8,5	151	0,00859517
9	96	0,00546448
9,5	53	0,00301685
10	0	0

Taula 13.- Funció de probabilitat. Font: Elaboració pròpia.



Gràfic 6.- Funció de probabilitat. Font: Elaboració pròpia.

8.2.3.- Funció de distribució de Weibull.

Les mesures de la velocitat del vent d'almenys un any solen quedar ben representades mitjançant una *funció de distribució de Weibull*, que proporciona informació sobre la probabilitat de que la velocitat del vent superi un cert valor.

$$P(v > u) = \exp \left[- \left(\frac{u}{c} \right)^k \right] \quad (\text{Eq.19})$$

On $k > 0$ es un factor de forma i $C > 1$ és un factor d'escala.

Aplicant logaritmes a ambdós cantons de la equació, resulta;

$$F = - \left(\frac{u}{c} \right)^k, \text{ Aplicant logaritmes de nou, resulta: } \ln(-\ln F) = k \cdot \ln u - k \cdot \ln c$$

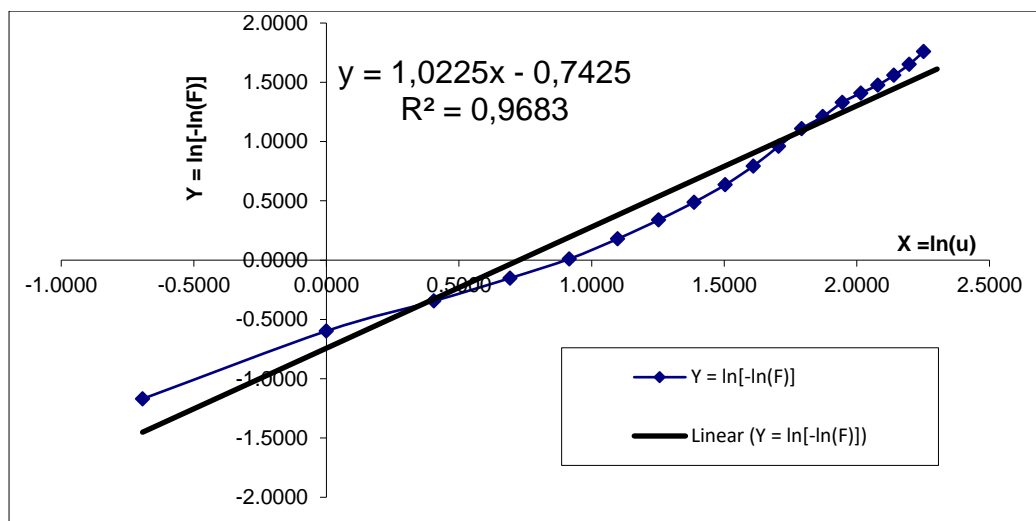
Que és l'equació d'una recta de la forma: $y = ax + b$

Amb $y = \ln(-F)$, $a = k$, $x = \ln u$ y $b = -k \cdot \ln c$

Es tracta llavors de trobar les constants C i k de la distribució de Weibull que s'ajusta a la distribució de probabilitat. Es representa a la gràfica la funció $Y = \ln[-k \cdot \ln(F)]$ en funció de $X (\ln u)$ i es superposa una recta de regressió. Amb el pendent i la ordenada a l'origen de la recta de regressió es calculen les constants de la distribució de Weibull.

c	Funció de probabilitat F(V)	X = ln(u)	Y = ln[-ln(F)]
0	0,95537341		
0,5	0,73320811	-0,6931	-1,1701
1	0,57695811	0,0000	-0,5979
1,5	0,49242942	0,4055	-0,3447
2	0,42321266	0,6931	-0,1510
2,5	0,36384335	0,9163	0,0110
3	0,30185565	1,0986	0,1805
3,5	0,24567395	1,2528	0,3391
4	0,19586749	1,3863	0,4888
4,5	0,15118397	1,5041	0,6362
5	0,1095173	1,6094	0,7937
5,5	0,07331512	1,7047	0,9605
6	0,0483265	1,7918	1,1085
6,5	0,03472222	1,8718	1,2121
7	0,02271175	1,9459	1,3310
7,5	0,01667805	2,0149	1,4094
8	0,01252277	2,0794	1,4771
8,5	0,00859517	2,1401	1,5595
9	0,00546448	2,1972	1,6505
9,5	0,00301685	2,2513	1,7585
10	0	2,3026	

Taula 14.- Valors de la distribució de Weibull. Font: Elaboració pròpia.



Gràfic 7.- Distribució de Weibull. Font: elaboració pròpia.

De l'equació de la recta, obtenim:

$$Y = 1,0225X - 0,7425$$

$$k = a = 1,0225$$

$$C = \exp\left(\frac{-b}{a}\right) = \exp\left(\frac{-0,7425}{1,0225}\right) = 2,067$$

8.2.4.- Corba de potència de l'aerogenerador.

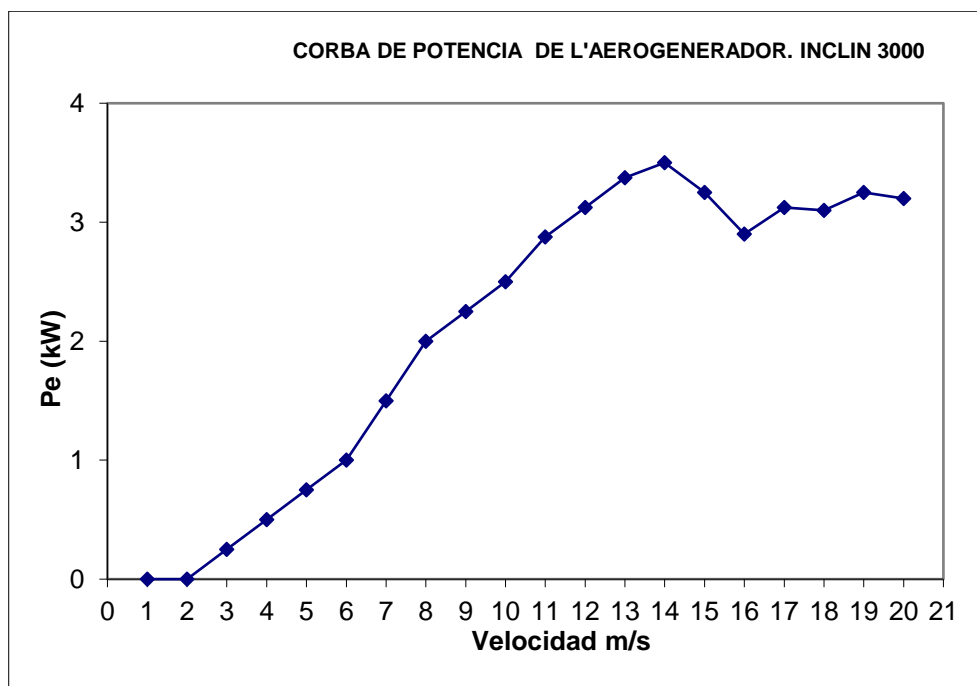
La corba de potència de l'aerogenerador ens indicarà quina serà la potència elèctrica disponible a l'aerogenerador per a diferents velocitats del vent.

En aquest apartat s'estudien diferents aerogeneradors de baixa potència, per veure quin d'ells s'ajusta millor a les característiques de l'emplaçament d'estudi.

8.2.4.1.- Corbes de potència dels diferents aerogeneradors estudiats.

CORBA DE POTENCIA DE L'AEROGENERADOR. INCLIN 3000 3kW			
Velocitat del vent (m/s)	Potencia (kW)	Velocitat del vent (m/s)	Potencia (kW)
1	0	10	2,5
2	0	11	2,875
3	0,25	12	3,125
4	0,5	13	3,375
5	0,75	14	3,5
6	1	15	3,25
7	1,5	16	2,9
8	2	17	3,125
9	2,25	18	3,1
		19	3,25
		20	3,2

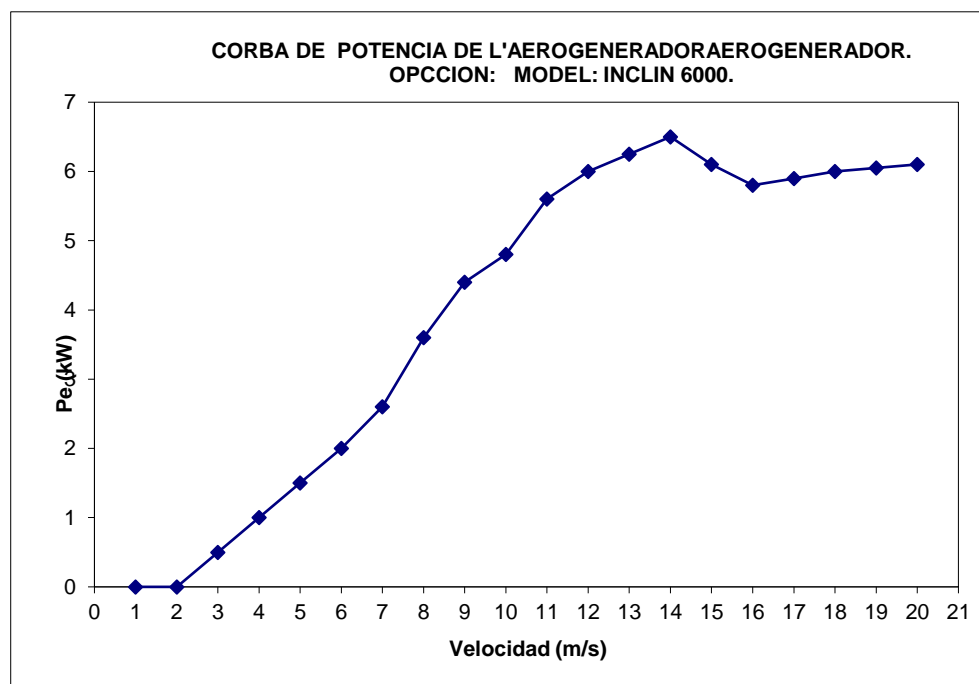
Taula 15.- Generador model: Inclín 3000. Font. Elaboració pròpia.



Gràfic 8.- Generador model: Inclín 3000. Font. Elaboració pròpia.

CORBA DE POTENCIA DEL AEROGENERADOR. INCLIN 6000 6kW	
Velocitat del vent (m/s)	Potencia (kW)
1	0
2	0
3	0,5
4	1
5	1,5
6	2
7	2,6
8	3,6
9	4,4
10	4,8
11	5,6
12	6
13	6,25
14	6,5
15	6,1
16	5,8
17	5,9
18	6
19	6,05
20	6,1

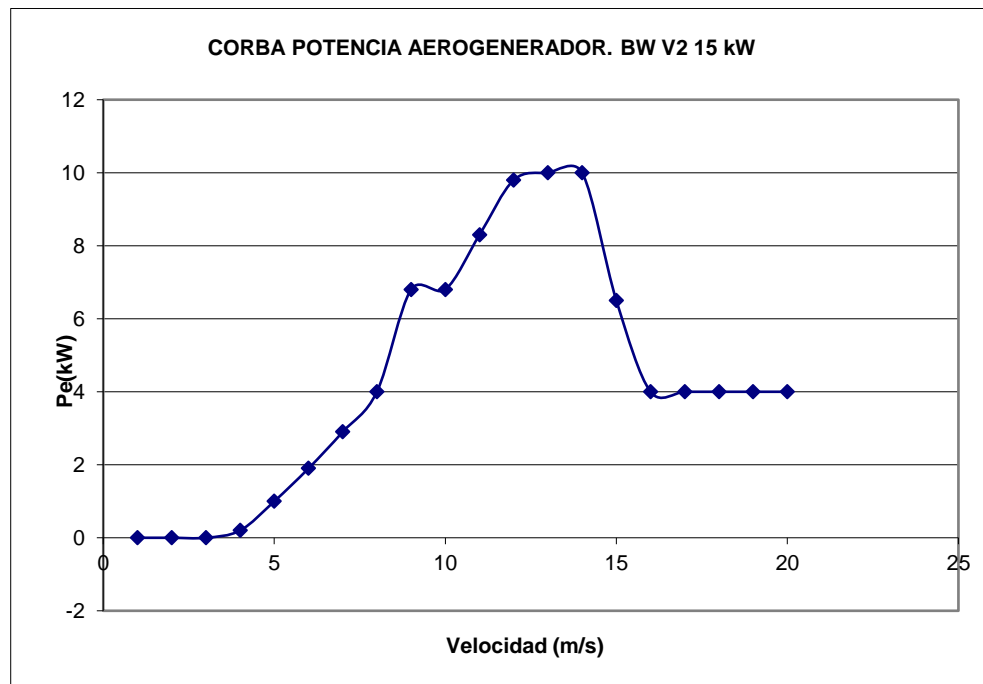
Taula 16.- Generador inclin 6000. Font: Elaboració pròpia.



Gràfic 9.- Generador inclin INCLIN 6000. Font: Elaboració pròpia.

CORBA DE POTENCIA DEL AEROGENERADOR. MODEL: BW V2 15 kW	
Velocitat del vent (m/s)	Potencia (kW)
1	0
2	0
3	0
4	0,2
5	1
6	1,9
7	2,9
8	4
9	6,8
10	6,8
11	8,3
12	9,8
13	10
14	10
15	6,5
16	4
17	4
18	4
19	4
20	4

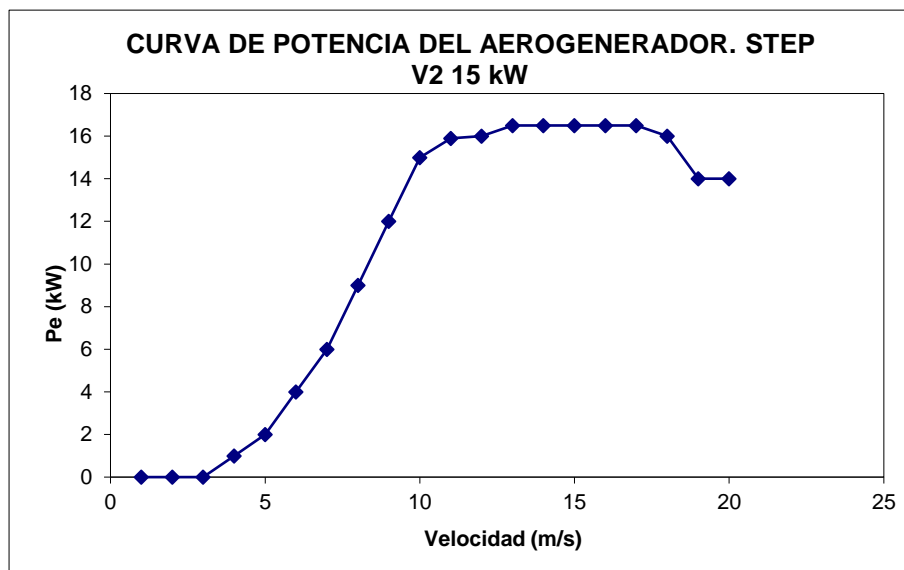
Taula17.- Corba potencia aerogenerador BW V2 15 kW.Font: Elaboració pròpia.



Gràfic 10.- Corba potencia de l'aerogenerador model: BW V2 15 kW. Font: Elaboració pròpia.

CORBA DE POTENCIA DEL AEROGENERADOR. STEP V2 15 kW	
Velocitat del vent (m/s)	Potencia (kW)
1	0
2	0
3	0
4	1
5	2
6	4
7	6
8	9
9	12
10	15
11	15,9
12	16
13	16,5
14	16,5
15	16,5
16	16,5
17	16,5
18	16
19	14
20	14

Taula 18.- Corba potencia de l'aerogenerador. Step V2 15kW.Font: Elaboració pròpia.



Gràfic 11.- Corba potencia de l'aerogenerador MODEL: Step V2 15kW. Font: Elaboració pròpia.

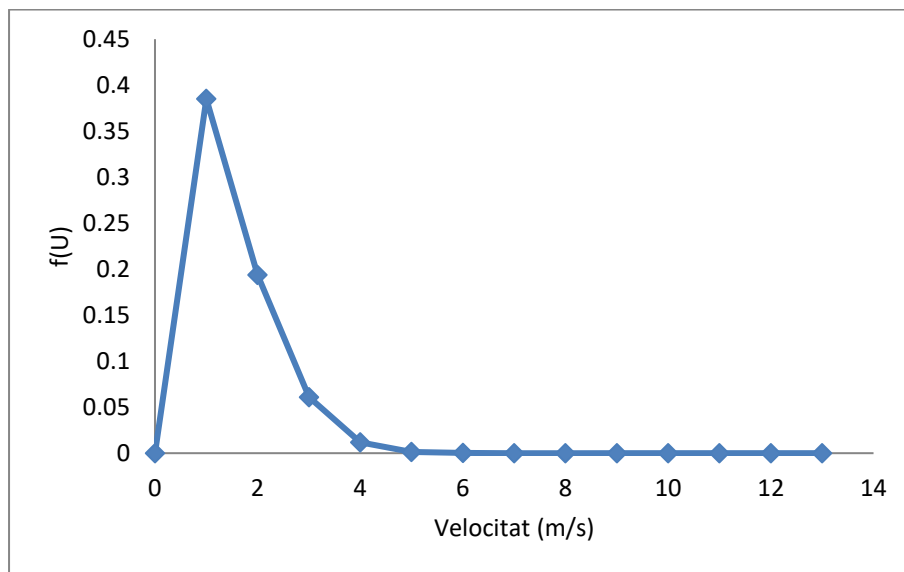
8.2.5.- Funció de densitat de probabilitat.

Derivant l'expressió de Weibull (Eq.1) respecte a u s'obté la funció de densitat de probabilitat, $f(u)$ La funció de densitat de probabilitat descriu la tendència que presenta la velocitat del vent, entorna un valor mig (Distribució normal).

$$f(u) = \frac{k}{c} \left(\frac{u}{c} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{u}{c} \right)^k \right] \quad (Eq. 20)$$

FUNCIO DE DENSITAT DE PROBABILITAT			
U	f(U)	U	f(U)
0	0	8	1,59515E-07
1	0,385091055	9	2,9932E-09
2	0,193833085	10	3,51622E-11
3	0,06070281	11	2,58611E-13
4	0,011873159	12	1,19087E-15
5	0,001452181	13	3,43352E-18
6	0,000111123		
7	5,32156E-06		

Taula 19.- Funció de densitat de probabilitat. Font: Elaboració pròpia.



Gràfic 12.- Funció de densitat de probabilitat. Font: Elaboració pròpia.

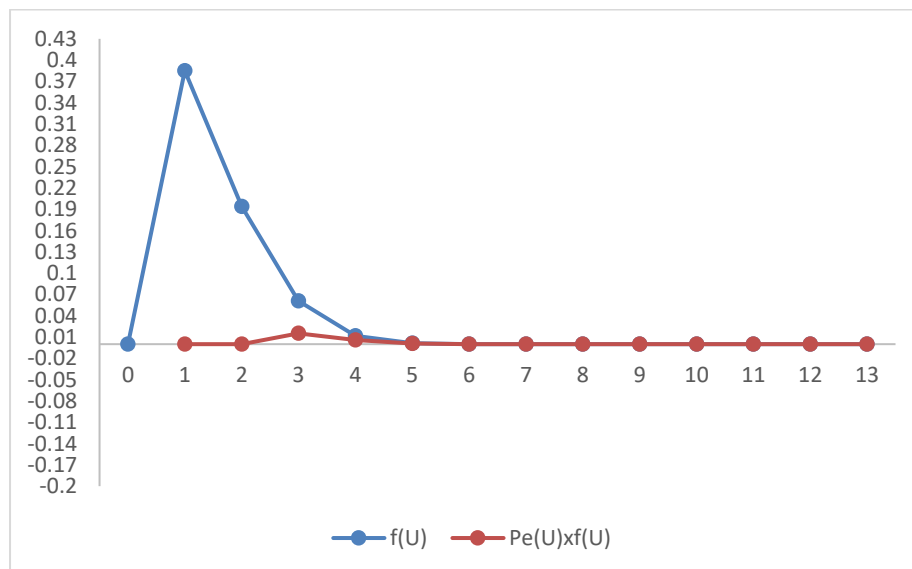
8.2.6.- Energia produïda per l'aerogenerador a l'emplaçament.

L'àrea sota la corba $P_e(u) \cdot f(u)$, representa l'energia per unitat de temps que produiria l'aerogenerador amb el potencial eòlic de l'emplaçament. Multiplicant l'energia (àrea sota la corba) pel número d'hores de l'any, obtenint així, l'energia total produïda en un any.

Un paràmetre determinant per conèixer la viabilitat d'un projecte eòlic és el factor de capacitat (FC), quocient entre l'energia que produeix l'aerogenerador a l'emplaçament i la que produiria funcionant tot el temps a potència màxima. **Es consideren projectes viables aquells en els quals el factor de capacitat és com a mínim de 0.3.**

FUNCIO DE DENSITAT DE PROBABILITAT. INCLIN 3000 3kW			
U(m/s)	f(U)	Pe(U)xf(U)	Regla trapezi pel càlcul de l'àrea
1	0,38509105	0	0
2	0,19383308	0	0,00758785
3	0,06070281	0,0151757	0,01055614
4	0,01187316	0,00593658	0,00351286
5	0,00145218	0,00108914	0,00060013
6	0,00011112	0,00011112	5,9553E-05
7	5,3216E-06	7,9823E-06	4,1507E-06
8	1,5951E-07	3,1903E-07	1,6288E-07
9	2,9932E-09	6,7347E-09	3,4113E-09
10	3,5162E-11	8,7906E-11	4,4325E-11
11	2,5861E-13	7,4351E-13	3,7361E-13
12	1,1909E-15	3,7215E-15	1,8665E-15
13	3,4335E-18	1,1588E-17	-7,532E-17
		Àrea	0,02232085
		kW·h any	392,132671
		FC	0,01309302

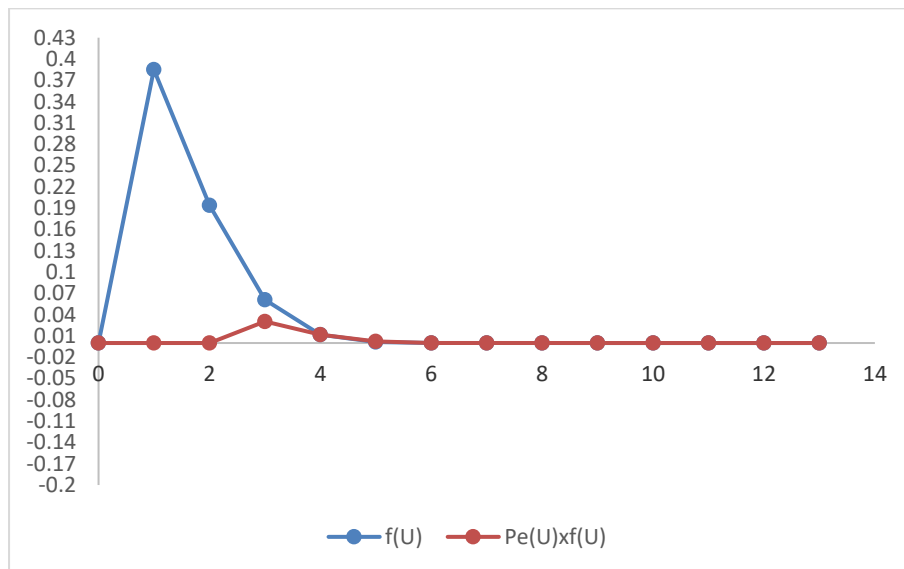
Taula 20.- Energia produïda per l'aerogenerador INCLIN 3000 3kW. Font: Elaboració pròpia.



Gràfic 13.- Pe (U) – f(U). AEROGENERADOR MODEL: INCLIN 3000 3kW.

FUNCIO DE DENSITAT DE PROBABILITAT. INCLIN 6000 6kW			
U	f(U)	Pe(U)xf(U)	Regla trapezi pel càlcul de l'àrea
1	0,38509105	0	0
2	0,19383308	0	0,0151757
3	0,06070281	0,03035141	0,02111228
4	0,01187316	0,01187316	0,00702572
5	0,00145218	0,00217827	0,00120026
6	0,00011112	0,00022225	0,00011804
7	5,3216E-06	1,3836E-05	7,2052E-06
8	1,5951E-07	5,7425E-07	2,9371E-07
9	2,9932E-09	1,317E-08	6,6694E-09
10	3,5162E-11	1,6878E-10	8,5113E-11
11	2,5861E-13	1,4482E-12	7,2768E-13
12	1,1909E-15	7,1452E-15	3,5833E-15
13	3,4335E-18	2,146E-17	-1,395E-16
		Àrea	0,0446395
		kW·h any	784,226821
		FC	0,01428464

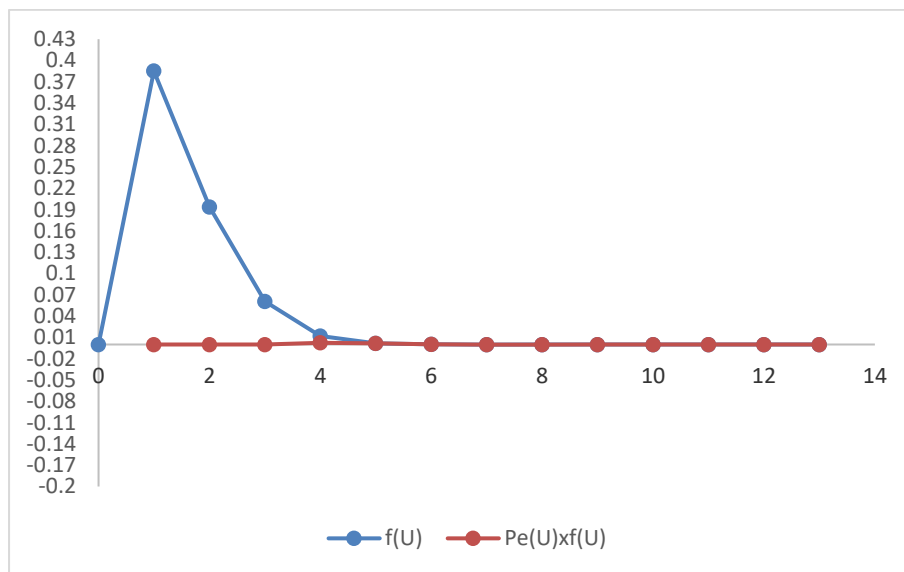
Taula 21.- Energia produïda per l'aerogenerador INCLIN 6000 6kW. Font: Elaboració pròpia.



Gràfic 14.- Pe (U) – f(U). AEROGENERADOR MODEL: INCLIN 6000 6kW.

FUNCIO DE DENSITAT DE PROBABILITAT. BW V2 15KW			
U	f(U)	Pe(U)xf(U)	Regla trapezi pel càlcul de l'àrea
1	0,38509105	0	0
2	0,19383308	0	0
3	0,06070281	0	0,00118732
4	0,01187316	0,00237463	0,00191341
5	0,00145218	0,00145218	0,00083166
6	0,00011112	0,00021113	0,00011328
7	5,3216E-06	1,5433E-05	8,0353E-06
8	1,5951E-07	6,3806E-07	3,2921E-07
9	2,9932E-09	2,0354E-08	1,0296E-08
10	3,5162E-11	2,391E-10	1,2062E-10
11	2,5861E-13	2,1465E-12	1,0791E-12
12	1,1909E-15	1,1671E-14	5,8524E-15
13	3,4335E-18	3,4335E-17	-2,232E-16
		Àrea	0,00405404
		kW·h any	71,2213273
		FC	0,00081081

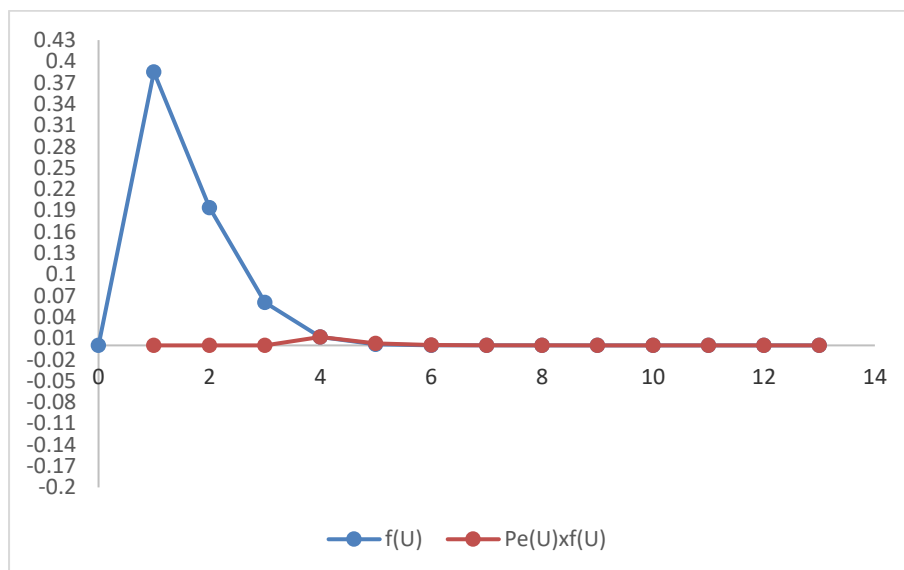
Taula 22. Energia produïda per l'aerogenerador BW V2 15KW. Font: Elaboració pròpia.



Gràfic 15.- Pe (U) – f(U). AEROGENERADOR BW V2 15KW.

FUNCIO DE DENSITAT DE PROBABILITAT STEP V2 15KW			
U	f(U)	Pe(U) · f(U)	Regla trapezi pel càlcul de l'àrea
1	0,38509105	0	0
2	0,19383308	0	0
3	0,06070281	0	0,00593658
4	0,01187316	0,01187316	0,00738876
5	0,00145218	0,00290436	0,00167443
6	0,00011112	0,00044449	0,00023821
7	5,3216E-06	3,1929E-05	1,6682E-05
8	1,5951E-07	1,4356E-06	7,3577E-07
9	2,9932E-09	3,5918E-08	1,8223E-08
10	3,5162E-11	5,2743E-10	2,6577E-10
11	2,5861E-13	4,1119E-12	2,0655E-12
12	1,1909E-15	1,9054E-14	9,5553E-15
13	3,4335E-18	5,6653E-17	-3,682E-16
		Àrea	0,01525541
		kW·h any	268,007109
		FC	0,00184914

Taula 23.- Energia produïda per l'aerogenerador STEP V2 15KW. Font: Elaboració pròpia.



Gràfic 16.- Pe (U) – f(U). AEROGENERADOR MODEL: STEP V2 15KW .

9.- ESTUDI ECONÒMIC.

En aquest apartat es determina quin cost suposa la generació d'un kW·h a l'emplaçament d'estudi. Aquest cost, es compararà amb el preu del kW·h subministrat per les companyes elèctriques. Això ens permetrà conèixer la viabilitat o no del projecte.

9.1.- Pressupost instal·lació solar fotovoltaica i eòlica.

A la taula següent, es detallen totes les partides que conformen el pressupost, preus i quantitats de tots els elements que s'han definit a la memòria i els càlculs.

Codi	Descripció	Quantitat	Preu/unit	Total
Fov01	Panell solar Schoot 225 W. Panell frontal de ferro i vidre solar, marc d'alumini anoditzat.	26	151,07	3927,82
Fov02	Bateria de GEL 48 V 1600Ah. BAE C100	3	2500	7500
Fov03	Controlador de càrrega PMW 60A 12/24/48V Tristat Morningstar. Fotovoltaic solar.	1	258,33	258,33
Fov04	Inversor ZIGOR Sunzet 5 TL.	1	2835.45	2835.45
Fov05	Cable solar ZZ-F 0,6/1 kV Instal·lacions solars. Formació flexible CL.5. s/UNE-EN 60228. Poliolefina vulcanitzada tipus E16 Norma EN-50363-1.	20	1,70	34
Fov06	Construcció estructura metàl·lica suport per als panells fotovoltaics.	1	1245	1245
Fov07	Obra civil. Col·locació de tots els elements que formen la instal·lació i posada en marxa.	1	2300	2300
Fov08	Tub flexible de PVC de 25 mm de diàmetre per a la connexió entre els diferents punts de la instal·lació.	20	1,80	40
Fov09	Caixa de connexions amb grau de protecció 55. Quadre de 60x150x100 mm.	2	11	22
TOTAL PRESSUPOST SOLAR FOTOVOLTAIC				15327,15
IVA (21%)				3218,70
TOTAL PRESSUPOST SOLAR FOTOVOLTAIC IVA INCLÒS				18545,85

Taula 24.- Pressupost instal·lació fotovoltaica. Font: Elaboració pròpia.

Codi	Descripció	Quantitat	Preu/unit	Total
Eo01	Aerogenerador inclin 6000 amb regulador. Fabricant Bornay.	1	6734,00	9358,14
Eo02	Obra civil. Col·locació de tots els elements que formen la instal·lació i posada en marxa.	1	739,29	894,54
Eo03	Tub flexible de PVC de 25 mm de diàmetre per a la connexió entre els diferents punts de la instal·lació.	40	1,80	72
Eo04	Caixa de connexions amb grau de protecció 55. Quadre de 60x150x100 mm.	2	11	22
Eo05	Cable solar ZZ-F 0,6/1 kV Instal·lacions solars. Formació flexible CL.5. s/UNE-EN 60228. Poliolefina vulcanitzada tipus E16 Norma EN-50363-1.	40	1,70	68
Eo06	Inversor ZIGOR Sunzet 5 TL.	1	2835,45	2835,45
Eo07	Bateria de GEL 48 V 1600Ah. BAE C100	3	2500	7500
TOTAL PRESSUPOST SOLAR EÒLIC				19540,13
IVA (21%)				4103,43
TOTAL PRESSUPOST EÒLIC IVA INCLÒS				23643,56

Taula 25.- Pressupost instal·lació eòlica. Font: Elaboració pròpia.

9.2.- Taxa de rendibilitat solar fotovoltaica.

La taxa de rendibilitat dependrà del tipus d'interès aplicar i dels anys de vida útil de la instal·lació. Així la taxa de rendibilitat, serà:

$$TR = \frac{r}{\left[1 - \frac{1}{(1+r)^n}\right]} \quad (Eq. 18)$$

On:

- r = Taxa d'interès aplicada: Tipus d'interès mig any 2018 és del 3%.
- n = Temps estimat de funcionament de la instal·lació fotovoltaica, 25 anys.

$$TR = \frac{r}{\left[1 - \frac{1}{(1+r)^n}\right]} = \frac{0,03}{1 - \left(\frac{1}{(1+0,03)^{25}}\right)} = 0,0574$$

9.3.- Càlcul del cost per kWh produït. Solar fotovoltaica.

El cost per kWh, serà:

$$C_{capital} = \left(\frac{i}{P}\right) \left(\frac{TR}{FC \cdot \frac{horas}{año}}\right) \quad (Eq. 20)$$

On:

- i = Inversió inicial= 18545,85€
- T.R = Taxa de rendibilitat = 0,0574
- P = Potència de la instal·lació = 4,663kW
- FC = Factor de capacitat. Quocient entre la energia produïda en el emplaçament anualment en kW·h i la que podria produir sense pèrdues. Si no haguéssim tingut en compte les pèrdues que es produeixen a la instal·lació, la producció a l'any d'estudi, hauria estat de 11040,3 kWh/any. Això correspondria a un rendiment nominal del 100%. Si descomptem les pèrdues, la producció anual es de 9525,64 kWh/any, el coeficient o FC, serà:

$$FC = \frac{\text{Energia produïda (kW \cdot h)}}{\text{Energia teòrica sense pèrdues (kW \cdot h)}} \quad (\text{Eq. 20})$$

$$FC = (11040,3 \text{ kWh/any} / 9525,64 \text{ kWh/any}) * 100 = 86,28\%$$

Això significa que al voltant del 14% de l'energia irradiada durant el període d'estudi es perd degut a pèrdues al cablejat elèctric, brutícia a les cèl·lules, etc.

Mes	Gdm(kWh/m2dia)	PR	Eac(kW·h/dia)	dies/mes	Eac(kWh·mes) sense pèrdues	Eac(kW·h/mes)
Gen.	3,08	0,870	15,70	31	559,19833	486,63
Febrer	4,16	0,880	21,44	28	682,18916	600,39
Març	5,57	0,895	29,21	31	1011,2775	905,47
Abril	5,92	0,885	30,69	30	1040,1511	920,81
Maig	6,44	0,869	32,76	31	1169,2329	1015,53
Juny	6,84	0,848	33,98	30	1201,7962	1019,28
Juliol	7	0,831	34,07	31	1270,9053	1056,29
Agost	6,57	0,834	32,09	31	1192,8354	994,90
Setembre	5,68	0,853	28,37	30	997,98277	851,01
Octubre	4,57	0,866	23,18	31	829,7196	718,59
Novembre	3,25	0,891	16,95	30	571,02888	508,54
Desembre	2,83	0,872	14,46	31	513,80885	448,20
Producció anual	5,16	0,866			11040,1	9525,64
					PF	0,8628

Taula.- 26. Producció energètica al llarg de l'any amb pèrdues i sense pèrdues. Font: Elaboració pròpia.

$$C_{capital} = \left(\frac{18545,85\text{€}}{4,663\text{kW}} \right) \left(\frac{0,0574}{0,8628 \cdot 8784\text{h/any}} \right) = 0,0301\text{€/kW}$$

El cost de generació de cada kW·h Vindrà donat per la suma dels costos de capital més els corresponents als costos d'operació i manteniment de la instal·lació. Considero, al tractar-se d'una instal·lació domèstica, que els costos de manteniment se situaran al voltant de 1% de la inversió.

$$C_{operació-manteniment} = \frac{0,01 \cdot i}{P \cdot FC \cdot \frac{\text{hores}}{\text{any}}} \quad (Eq. 21)$$

$$\frac{\text{Preu}}{\text{kW} \cdot \text{h}} = C_{capital} + C_{operació_manteniment} \quad (Eq. 22)$$

$$C_{operació-manteniment} = \frac{0,01 \cdot 18545,85}{4,663 \cdot 0,8628 \cdot 8784} = 0,0052\text{€/kW}$$

$$\frac{\text{Preu}}{\text{kW} \cdot \text{h}} = \frac{0,0301\text{€}}{\text{kW}} + \frac{0,0052\text{€}}{\text{kW}} = 0,035\text{€/kW}$$

9.4.- Costos que se'n derivarien si es volgués contractar el subministrament elèctric amb una companya elèctrica.

Els costos de lloguer dels comptadors de llum està regulat pel Ministeri d'Indústria. Aquest, defineix periòdicament el valor màxim al que poden facturar les companyes distribuïdores d'aquests equips.

El cost actual (2018) es de 0,81€/mes per als nous comptadors digitals.

En l'aplicació del **Real Decreto 216/2014 de 28 de marzo** els preus i les tarifes per als clients amb contractes en comercialitzadora de referencia són:

TERMINI DE POTENCIA	TERMINI D'ENERGIA
3,170286 €/kW/mes	0,140439 €/kWh

Taula 27.- Preus i tarifes comercialitzadores 2018.Font: Elaboració pròpia

La tarifa elèctrica té una estructura binomial. Per una banda, tenim el termini de potència, que és un cost fix en funció de la potència que es contracta i una segona part que és un cost variable, el termini d'energia, segons el consum que s'ha fet en el període a facturar.

En el termini de potència es multipliquen els kW que tenim contractats pels mesos de la factura i pel preu kW/mes que apareix publicat al B.O.E. Pel termini d'energia arribem al resultat multiplicant els kWh que consumim pel preu del kWh de la tarifa contractada, preu que també es regulat pel govern.

També forma part de la factura elèctrica el lloguer de l'aparell de mesura en el cas que el tinguem llogat perquè també pot ser de propietat. Aplicarem també l'IVA sobre els conceptes anteriors.

9.5.- Taxa de retorn de la inversió solar fotovoltaica.

Es tracta del període que trigarà en recuperar-se la inversió inicial a través dels fluxos de caixa generats pel projecte. La inversió es recuperarà a l'any corresponent al que els fluxos caixa acumulats superin a la inversió inicial.

- N = Número d'anys.
- A = Inversió inicial.
- FC = Fluxos de caixa.
- FCac = Fluxos de caixa acumulats.
- AO = Estalvi.
- CM = Cost de manteniment de la instal·lació.
- TC = total costos.

Com a despeses totals es consideren la compra i instal·lació de tots els elements necessaris per al correcte funcionament, més els costos de manteniment, que en aquest cas es consideren un 1% de la inversió inicial (Aproximadament 93€/any).

9.5.1.- Exemple de càlcul de la taxa de retorn de la inversió solar fotovoltaica.

Les despeses es consideren com a negatives i l'augment dels preus anual del 3%. IPC 3%.

- N = any 1.
- A = Inversió inicial = -18545,85€
- CM = Cost de manteniment de la instal·lació = -92,73€ (0,5% del cost de la instal·lació).
- TC = total costos = A + CM = -18545,85€ - 92,73€ = -18638,58€

- AO = Estalvi. Potència contractada = 5,5 kW.
 Preu potencia = 3,17028 €/kW·mes + IVA = 3,84€/kW·mes.
 Preu fix potencia = 5,5 kW · 3,84€/kW·mes · 12 mesos/any = 253,18 €/any.
 Preu energia = 0,140439 €/kW·h + IVA = 0,169931 €/kW·h
 Energia consumida = 15,068 kWh/dia.
 Preu energia consumida = 366dies/any·15,068 kWh/dia·0,169931 €/kW·h = 937,13 €/any.
 Lloguer dels comptadors = 0,81 €/dia + IVA = 0,98 €/dia · 366 dies = 358,72 €/any.
 Total factura = lloguer comptadors + Preu energia consumida + Preu potencia.
 Total factura = 358,72 €/any + 937,13 €/any + 253,18 €/any = 1549, 03 €/any.
- FC = TC – AO = -18638,58€ + 1549, 03 €/any = -17089,59 €
- FCac = -17089,59.

Companya elèctrica	
Potencia contractada (PC) kW	5,5
Preu potencia (P) (€/kW/mes)	3,17028
Preu potencia (P) (€/kW/mes) +IVA	3,84
Mesos any (n)	12
Potencia (Preu fix) €/any	253,18
Preu energia (€/kWh) (Pe)	0,140439
Preu energia (€/kWh) (Pe) + IVA	0,16993119
Energia consumida (kWh/dia)	15,068
Energia. preu per energia consumida (€/any)	937,13
Lloguer comptadors (€/dia)	0,81
Lloguer comptadors (€/dia) +IVA	0,9801
Lloguer (€/any)	358,7166
Total factura anual	1549,029

Taula 28.- Costos connexió a companya elèctrica. Font: elaboració pròpia.

N	A	CM	TC	AO	FC	Fcac
1	-18545,85	-92,73	-18638,58	1549,03	-17089,55	-17089,55
2		-95,51	-95,51	1595,50	1499,99	-15589,56
3		-98,38	-98,38	1643,36	1544,99	-14044,57
4		-101,33	-101,33	1692,67	1591,34	-12453,24
5		-104,37	-104,37	1743,45	1639,08	-10814,16
6		-107,50	-107,50	1795,75	1688,25	-9125,91
7		-110,72	-110,72	1849,62	1738,90	-7387,01
8		-114,05	-114,05	1905,11	1791,06	-5595,95
9		-117,47	-117,47	1962,26	1844,80	-3751,15
10		-120,99	-120,99	2021,13	1900,14	-1851,01
11		-124,62	-124,62	2081,76	1957,14	106,13
12		-128,36	-128,36	2144,22	2015,86	2121,99
13		-132,21	-132,21	2208,54	2076,33	4198,33
14		-136,18	-136,18	2274,80	2138,62	6336,95
15		-140,26	-140,26	2343,04	2202,78	8539,73
16		-144,47	-144,47	2413,34	2268,87	10808,60
17		-148,80	-148,80	2485,74	2336,93	13145,53

Taula 29.- Moviment de fons anual instal·lació fotovoltaica. Font: Elaboració pròpia.

A partir dels resultats obtinguts s'observa com el període de retorn de la inversió (Payback) per a la opció fotovoltaica, se situa al voltant dels 11 anys.

9.6.- TAXA DE RENDIBILITAT EÒLICA.

$$TR = \frac{r}{\left[1 - \frac{1}{(1+r)^n}\right]} \quad (Eq. 18)$$

$$TR = \frac{0,03}{1 - \left(\frac{1}{(1+0,03)^{25}}\right)} = 0,0574$$

9.7.- CÀLCUL DEL COST PER kWh PRODUIR. EÒLICA.

El cost per kWh, serà:

$$C_{capital} = \left(\frac{i}{P}\right) \left(\frac{TR}{FC \cdot \frac{horas}{año}}\right) \quad (Eq. 19)$$

On:

- i = Inversió inicial = 23643,56€
- T.R = Taxa de rendibilitat = 0,0574
- P = Potència de la instal·lació = 4,663kW
- FC = Factor de capacitat = 0,143

$$C_{capital} = \left(\frac{23643,56€}{4,663kW}\right) \left(\frac{0,0574}{0,143 \cdot \frac{8784h}{any}}\right) = 2,321€/kW$$

El cost de generació de cada kW·h vindrà donat per la suma dels costos de capital més els corresponents als costos d'operació i manteniment de la instal·lació. Considero, al tractar-se d'una instal·lació domèstica, que els costos de manteniment se situaran al voltant de 1% de la inversió.

$$C_{operació-manteniment} = \frac{0,01 \cdot i}{P \cdot FC \cdot \frac{hores}{any}} \quad (Eq. 20)$$

$$\frac{Preu}{kW \cdot h} = C_{capital} + C_{operació_manteniment} \quad (Eq. 21)$$

$$C_{operació-manteniment} = \frac{0,01 \cdot 23643,56€}{4,663kW \cdot 0,143 \cdot 8784h/any} = 0,4041€/kW$$

$$\frac{Preu}{kW \cdot h} = \frac{0,4041€}{kW} + \frac{2,321€}{kW} = 2,725€/kW$$

ANY	A	CM	TC	AO	FC	Fcac
1	-23643,56	-236,44	-23880,00	1549,03	-22330,97	-22330,97
2		-243,53	-243,53	1595,50	1351,97	-20979,00
3		-250,83	-250,83	1643,36	1392,53	-19586,47
4		-258,36	-258,36	1692,67	1434,31	-18152,16
5		-266,11	-266,11	1743,45	1477,33	-16674,83
6		-274,09	-274,09	1795,75	1521,65	-15153,17
7		-282,32	-282,32	1849,62	1567,30	-13585,87
8		-290,79	-290,79	1905,11	1614,32	-11971,54
9		-299,51	-299,51	1962,26	1662,75	-10308,79
10		-308,49	-308,49	2021,13	1712,64	-8596,15
11		-317,75	-317,75	2081,76	1764,02	-6832,14
12		-327,28	-327,28	2144,22	1816,94	-5015,20
13		-337,10	-337,10	2208,54	1871,44	-3143,76
14		-347,21	-347,21	2274,80	1927,59	-1216,17
15		-357,63	-357,63	2343,04	1985,41	769,24
16		-368,36	-368,36	2413,34	2044,98	2814,22
17		-379,41	-379,41	2485,74	2106,33	4920,55
18		-390,79	-390,79	2560,31	2169,52	7090,06
19		-402,52	-402,52	2637,12	2234,60	9324,66
20		-414,59	-414,59	2716,23	2301,64	11626,30

Taula 30.- Moviment de fons anual instal·lació eòlica. Font: Elaboració pròpia.

A partir dels resultats obtinguts s'observa com el període de retorn de la inversió (Payback) per a l'opció fotovoltaica, se situa al voltant dels 15 anys.

10.- CONCLUSIONS.

A partir dels resultats obtinguts a l'estudi econòmic i de producció d'energia. del sistema fotovoltaic, es pot considerar que es tracta d'una instal·lació rendible i eficient, amb una taxa de retorn de la inversió situada al voltant dels 11 anys i un factor de capacitat superior al 86%. El període de retorn de la instal·lació podria haver millorat considerablement si s'haguessin inclòs els costos d'enginyeria civil, derivats de la connexió a la xarxa de qualsevol companyia elèctrica. En aquest estudi s'han considerat les despeses com si poguéssim triar entre companyia elèctrica o auto abastiment elèctric mitjançant panells solars o un aerogenerador.

Per altra banda, l'estudi eòlic al mateix emplaçament, no ha donat un resultat molt satisfactori, ja que s'obtenen uns valors molt baixos de rendiment, i un període de retorn de la inversió situat al voltant dels 15 anys. Amb tots els aerogeneradors estudiats, s'obtenen factors de capacitat molt allunyats del que seria desitjable en una instal·lació econòmica i tècnicament viable, assolint-se en el millor dels casos, amb l'aerogenerador model Inclín 6000 un FC de 0.014. Es considera un projecte viable quan el FC se situa al voltant del 0,20. Per la qual cosa, quedaria desaconsellada la instal·lació d'un aerogenerador a l'emplaçament d'estudi.

Una planta fotovoltaica o eòlica per autoconsum, fomenta una consciència en l'ús de l'energia i es contribueix d'una forma activa en la protecció i millora del medi ambient.

8.- BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA CONSULTADA.

- Mapes de potencial d'irradiació global i d'angles òptims d'inclinació.
Obtinguts de: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_index.html
- Fitxes tècniques dels aerogeneradors Bornay.
Obtinguts de: <https://www.bornay.com/es/productos/aerogeneradores>
- Programa informàtic per a la realització de roses del vent.
Obtingut de: <https://www.weblakes.com/products/wrplot/index.html>
- Guia Tècnica d'aplicació al Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió.
Obtingut de: https://www.boe.es/boe_catalan/dias/2002/10/01/pdfs/A02526-02720.pdf
- Falk Antony, Christian Dürschner, Karl-Heinz. (2010). Diseño, instalación y comercialización de plantas solares fotovoltaicas. Censolar.

11.- ANNEXES.

11.1.- INDICACIONS DE “INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACION Y AHORRO DE LA ENERGIA” IDAE. DIMENSIONAT D’INSTAL·LACIONS SOLARS FOTOVOLTAIQUES AÏLLADES DE LA XARXA.

I. Estimación del consumo diario de energía

1 Generalidades

- 1.1 La estimación correcta de la energía consumida por el sistema fotovoltaico sólo es sencilla en aquellas aplicaciones en las que se conocen exactamente las características de la carga (por ejemplo, sistemas de telecomunicación). Sin embargo, en otras aplicaciones, como puede ser la electrificación de viviendas, la tarea no resulta fácil pues intervienen multitud de factores que afectan al consumo final de electricidad: tamaño y composición de las familias (edad, formación, etc.), hábitos de los usuarios, capacidad para administrar la energía disponible, etc.
- 1.2 El objeto de este apartado es estimar la energía media diaria consumida por el sistema, E_D (Wh/día).
- 1.3 El cálculo de la energía consumida incluirá las pérdidas diarias de energía causadas por el autoconsumo de los equipos (regulador, inversor, etc.).
- 1.4 El consumo de energía de las cargas incluirá el servicio de energía eléctrica ofrecido al usuario para distintas aplicaciones (iluminación, TV, frigorífico, bombeo de agua, etc.).
- 1.5 Para propósitos de dimensionado del acumulador, se calculará el consumo medio diario en Ah/día, L_D , como:

$$L_D \text{ (Ah/día)} = \frac{E_D \text{ (Wh/día)}}{V_{NOM} \text{ (V)}}$$

donde V_{NOM} (V) es la tensión nominal del acumulador.

- 1.6 Los parámetros requeridos en la Memoria de Solicitud para una aplicación destinada al bombeo de agua serán calculados por el instalador usando los métodos y herramientas que estime oportunos. En su defecto, el apartado 2 describe un procedimiento aproximado de cálculo que permite considerar las características dinámicas del pozo.

2 Bombeo de agua

2.1 Definiciones

2.1.1 *Altura de fricción:* H_f (m).

Contribución equivalente en altura de las pérdidas por fricción en las tuberías para un caudal determinado.

2.1.2 *Altura del depósito:* H_D (m).

Altura entre el depósito de agua y el suelo.

2.1.3 *Altura total equivalente:* H_{TE} (m).

Altura fija (constante ficticia) a la que se habría tenido que bombear el volumen diario de agua requerido.

2.1.4 *Volumen diario de agua requerido: Q_d (m³/día).*

Cantidad de agua que debe ser bombeada diariamente por el sistema fotovoltaico.

2.1.5 *Caudal medio o aparente: Q_{AP} (m³/h).*

Valor medio del volumen diario de agua requerido ($Q_{AP} = Q_d / 24$).

2.1.6 *Eficiencia de la motobomba: η_{MB} .*

Cociente entre la energía hidráulica y la energía eléctrica consumida por la motobomba.

2.1.7 *Energía eléctrica consumida por la motobomba: E_{MB} (Wh/día).*

2.1.8 *Energía hidráulica: E_H (Wh/día).*

Energía necesaria para bombear el volumen diario de agua requerido.

2.1.9 *Prueba de bombeo.*

Experimento que permite determinar el descenso de nivel de agua de un pozo al extraer un determinado caudal de prueba. Mediante este ensayo de bombeo se caracteriza el pozo con la medida de tres parámetros:

- *Nivel estático del agua: H_{ST} (m).*

Distancia vertical entre el nivel del suelo y el nivel del agua antes de la prueba de bombeo.

- *Nivel dinámico del agua: H_{DT} (m).*

Distancia vertical entre el nivel del suelo y el nivel final del agua después de la prueba de bombeo.

- *Caudal de prueba: Q_T (m³/h).*

Caudal de agua extraído durante la prueba de bombeo.

2.2 **Cálculo de la energía eléctrica requerida por la motobomba**

2.2.1 Se estimará la energía eléctrica consumida por la motobomba como:

$$E_{MB} \text{ (Wh/día)} = \frac{E_H \text{ (Wh/día)}}{\eta_{MB}} = \frac{2,725 Q_d \text{ (m}^3\text{/día)} \cdot H_{TE} \text{ (m)}}{\eta_{MB}}$$

2.2.2 Para sistemas de bombeo de corriente alterna, la eficiencia de la motobomba es un parámetro que suele estar incluido en el rendimiento del conjunto inversor-motobomba. Habitualmente, el fabricante proporciona herramientas gráficas para el cálculo del rendimiento global del sistema, incluyendo el propio generador fotovoltaico. Por defecto, puede utilizarse un rendimiento típico $\eta_{MB} = 0,4$ para bombas superiores a 500 W.

2.2.3 La altura equivalente de bombeo, H_{TE} , es un parámetro ficticio que incluye las características físicas del pozo y del depósito, las pérdidas por fricción en las tuberías (contribución equivalente en altura) y la variación del nivel dinámico del agua durante el bombeo. Para su cálculo puede utilizarse la fórmula siguiente:

$$H_{TE} = H_D + H_{ST} + \left(\frac{H_{DT} - H_{ST}}{Q_T} \right) Q_{AP} + H_f$$

La suma de los dos primeros términos es la altura desde la salida de la bomba en el depósito hasta el nivel estático del agua (figura 3). El tercer término es una corrección para tener en cuenta el descenso de agua durante el bombeo y el cuarto es la contribución equivalente en altura de las pérdidas por fricción en las tuberías y en otros accesorios del sistema hidráulico (válvulas, codos, grifos, etc.). Estas pérdidas, de acuerdo con el PCT, serán inferiores al 10 % de la energía hidráulica útil (es decir, $H_f < 0,1 H_{TE}$).

II. Dimensionado del sistema

1 Generalidades

- 1.1 El objeto de este apartado es evaluar el dimensionado del generador fotovoltaico llevado a cabo por el instalador, con independencia de los métodos que el instalador utilice para esta tarea.
- 1.2 Para ello se le pedirá que indique la eficiencia energética esperada para la instalación.

2 Definiciones

2.1 Ángulo de inclinación β .

Ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal (figura 1). Su valor es 0° para módulos horizontales y 90° para verticales.

2.2 Ángulo de azimut α .

Ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar (figura 2). Valores típicos son 0° para módulos orientados al sur, -90° para módulos orientados al este y $+90^\circ$ para módulos orientados al oeste.

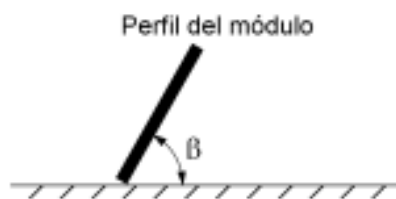


Fig. 1

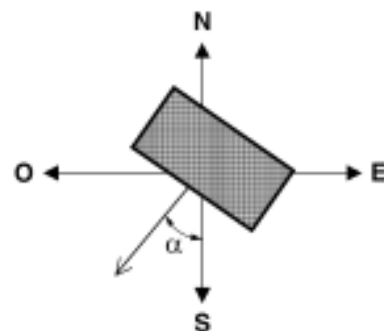


Fig. 2

2.3 $G_{\text{hm}}(0)$.

Valor medio mensual o anual de la irradiación diaria sobre superficie horizontal en kWh/(m²·día).

2.4 $G_{dm}(\alpha_{opt}, \beta_{opt})$.

Valor medio mensual o anual de la irradiación diaria sobre el plano del generador orientado de forma óptima $(\alpha_{opt}, \beta_{opt})$, en kWh/(m²·día). Se considera orientación óptima aquella que hace que la energía colectada sea máxima en un período.

2.5 $G_{dm}(\alpha, \beta)$.

Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del generador en kWh/(m²·día) y en el que se hayan descontado las pérdidas por sombreado.

2.6 Factor de irradiación (FI).

Porcentaje de radiación incidente para un generador de orientación e inclinación (α, β) respecto a la correspondiente para una orientación e inclinación óptimas $(\alpha = 0^\circ, \beta_{opt})$. Las pérdidas de radiación respecto a la orientación e inclinación óptimas vienen dadas por $(1 - FI)$.

2.7 Factor de sombreado (FS).

Porcentaje de radiación incidente sobre el generador respecto al caso de ausencia total de sombras. Las pérdidas por sombreado vienen dadas por $(1 - FS)$.

2.8 Rendimiento energético de la instalación o "performance ratio", PR.

Eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo para el período de diseño, de acuerdo con la ecuación:

$$PR = \frac{E_D G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) P_{mp}}$$

$G_{CEM} = 1 \text{ kW/m}^2$

P_{mp} : Potencia pico del generador (kWp)

E_D : Consumo expresado en kWh/día.

Este factor considera las pérdidas en la eficiencia energética debido a:

- La temperatura.
- El cableado.
- Las pérdidas por dispersión de parámetros y suciedad.
- Las pérdidas por errores en el seguimiento del punto de máxima potencia.
- La eficiencia energética, η_{hb} , de otros elementos en operación como el regulador, batería, etc.
- La eficiencia energética del inversor, η_{inv} .
- Otros.

Valores típicos son, en sistemas con inversor, $PR \approx 0,7$ y, con inversor y batería, $PR \approx 0,6$. A efectos de cálculo y por simplicidad, se utilizarán en sistemas con inversor $PR = 0,7$ y con inversor y batería $PR = 0,6$. Si se utilizase otro valor de PR, deberá justificarse el valor elegido desglosando los diferentes factores de pérdidas utilizados para su estimación.

En caso de acople directo de cargas al generador (por ejemplo, una bomba), se hará un cálculo justificativo de las pérdidas por desacople del punto de máxima potencia.

3 Procedimiento

3.1 Período de diseño

Se establecerá un período de diseño para calcular el dimensionado del generador en función de las necesidades de consumo y la radiación. Se indicará cuál es el período para el que se realiza el diseño y los motivos de la elección. Algunos ejemplos son:

- En escenarios de consumo constante a lo largo del año, el criterio de “mes peor” corresponde con el de menor radiación.
- En instalaciones de bombeo, dependiendo de la localidad y disponibilidad de agua, el “mes peor” corresponde a veces con el verano.
- Para maximizar la producción anual, el período de diseño es todo el año.

3.2 Orientación e inclinación óptimas. Pérdidas por orientación e inclinación

Se determinará la orientación e inclinación óptimas ($\alpha = 0^\circ$, β_{opt}) para el período de diseño elegido. En la tabla III se presentan períodos de diseño habituales y la correspondiente inclinación (β) del generador que hace que la colección de energía sea máxima.

Tabla III

Período de diseño	β_{opt}	$K = \frac{G_{\alpha=0, \beta_{opt}}}{G_{\alpha=0, \beta=0}}$
Diciembre	$\phi + 10$	1,7
Julio	$\phi - 20$	1
Anual	$\phi - 10$	1,15

ϕ = Latitud del lugar en grados

El diseñador buscará, en la medida de lo posible, orientar el generador de forma que la energía captada sea máxima en el período de diseño ($\alpha = 0^\circ$, β_{opt}). Sin embargo, no será siempre posible orientar e inclinar el generador de forma óptima, ya que pueden influir otros factores como son la acumulación de suciedad en los módulos, la resistencia al viento, las sombras, etc. Para calcular el factor de irradiación para la orientación e inclinación elegidas se utilizará la expresión aproximada:

$$FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \alpha^2] \quad \text{para } 15^\circ < \beta < 90^\circ$$

$$FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2] \quad \text{para } \beta \leq 15^\circ$$

[Nota: α , β se expresan en grados]

3.3 Irradiación sobre el generador

Deberán presentarse los siguientes datos:

$$G_{dm}(0)$$

Obtenida a partir de alguna de las siguientes fuentes:

- Instituto Nacional de Meteorología
- Organismo autonómico oficial

$$G_{dm}(\alpha, \beta)$$

Calculado a partir de la expresión:

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = G_{dm}(0) \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta)$$

donde:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{\cos(\beta)}{\cos(\alpha_0)}\right)$$

$$\beta = \arcsin\left(\frac{\sin(\alpha_0)}{\sin(\beta_0)}\right)$$

Este parámetro puede obtenerse de la tabla III para el período de diseño elegido.

3.4 Dimensionado del generador

El dimensionado mínimo del generador, en primera instancia, se realizará de acuerdo con los datos anteriores, según la expresión:

$$P_{mínimo} = \frac{E_{mín} \cdot G_{dm}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot PR}$$

$$G_{dm} = 1 \text{ kWh/m}^2$$

$E_{mín}$: Consumo expresado en kWh/día

Para el cálculo, se utilizarán los valores de PR especificados en el punto 2.8 de este anexo.

3.5 Diseño del sistema

El instalador podrá elegir el tamaño del generador y del acumulador en función de las necesidades de autonomía del sistema, de la probabilidad de pérdida de carga requerida y cualquier otro factor que quiera considerar, respetando los límites estipulados en el PCT:

- La potencia nominal del generador será, como máximo, un 20 % superior al valor $P_{mp, mín}$ para el caso general (ver 4.2.4 de este PTC).
- La autonomía mínima del sistema será de tres días.
- Como caso general, la capacidad nominal de la batería no excederá en 25 veces la corriente de cortocircuito en CEM del generador fotovoltaico.

La autonomía del sistema se calculará mediante la expresión:

$$A = \frac{C_{20} \cdot PD_{max}}{L_D} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{cb}$$

Donde:

A = Autonomía del sistema en días
 C_{20} = Capacidad del acumulador en Ah (*)
 PD_{max} = Profundidad de descarga máxima
 η_{inv} = Rendimiento energético del inversor
 η_{rb} = Rendimiento energético del acumulador + regulador
 L_D = Consumo diario medio de la carga en Ah

III. Ejemplo de cálculo

1 Estudio de la carga

Se pretende electrificar una vivienda rural de una familia formada por 4 personas, situada en el término municipal de San Agustín de Guadalix (latitud = 41°). El servicio de energía eléctrica ofrecido a los usuarios está recogido en la tabla IV. El servicio proporcionado incluye la electrificación de la vivienda y un sistema de bombeo de agua (para uso personal y una pequeña granja).

Las pérdidas de autoconsumo de los equipos incluyen las del regulador ($24 \text{ h} \times 1 \text{ W} = 24 \text{ Wh}$) y las del inversor, para el que se ha estimado que funcionará 11 horas en vacío con un consumo medio de 2 W ($11 \text{ h} \times 2 \text{ W} = 22 \text{ Wh}$).

Tabla IV. Consumo diario de energía eléctrica.

Servicio	Energía diaria (Wh/día)
Iluminación	160
TV y radio	140
Frigorífico	350
Bombeo de agua	204
Autoconsumo de los equipos	46
E_D (Wh/día)	900

La bomba de agua extrae diariamente 1500 litros de un pozo (figura 3), cuya altura equivalente de bombeo se ha estimado en 20 metros, con una motobomba que tiene un rendimiento energético del 40 %. La prueba de bombeo realizada al pozo permitió obtener los siguientes parámetros:

$$H_{ST} = 15 \text{ metros}$$

$$H_{DT} = 30 \text{ metros}$$

$$Q_T = 10 \text{ m}^3/\text{h}$$

(*) La utilización de C_{20} en lugar de la C_{100} lleva a sobredimensionar el acumulador un 25 %, pero se compensa con la pérdida de capacidad con el tiempo.

A = Autonomía del sistema en días
 C_{20} = Capacidad del acumulador en Ah (*)
 PD_{max} = Profundidad de descarga máxima
 η_{inv} = Rendimiento energético del inversor
 η_{rb} = Rendimiento energético del acumulador + regulador
 L_D = Consumo diario medio de la carga en Ah

III. Ejemplo de cálculo

1 Estudio de la carga

Se pretende electrificar una vivienda rural de una familia formada por 4 personas, situada en el término municipal de San Agustín de Guadalix (latitud = 41°). El servicio de energía eléctrica ofrecido a los usuarios está recogido en la tabla IV. El servicio proporcionado incluye la electrificación de la vivienda y un sistema de bombeo de agua (para uso personal y una pequeña granja).

Las pérdidas de autoconsumo de los equipos incluyen las del regulador ($24 \text{ h} \times 1 \text{ W} = 24 \text{ Wh}$) y las del inversor, para el que se ha estimado que funcionará 11 horas en vacío con un consumo medio de 2 W ($11 \text{ h} \times 2 \text{ W} = 22 \text{ Wh}$).

Tabla IV. Consumo diario de energía eléctrica.

Servicio	Energía diaria (Wh/día)
Iluminación	160
TV y radio	140
Frigorífico	350
Bombeo de agua	204
Autoconsumo de los equipos	46
E_D (Wh/día)	900

La bomba de agua extrae diariamente 1500 litros de un pozo (figura 3), cuya altura equivalente de bombeo se ha estimado en 20 metros, con una motobomba que tiene un rendimiento energético del 40 %. La prueba de bombeo realizada al pozo permitió obtener los siguientes parámetros:

$$H_{ST} = 15 \text{ metros}$$

$$H_{DT} = 30 \text{ metros}$$

$$Q_T = 10 \text{ m}^3/\text{h}$$

(*) La utilización de C_{20} en lugar de la C_{100} lleva a sobredimensionar el acumulador un 25 %, pero se compensa con la pérdida de capacidad con el tiempo.

2 Diseño del sistema

Tabla V. Cálculo de la potencia mínima del generador.

Parámetro	Unidades	Valor	Comentario
Localidad		S. Agustín de Gundalix	
Latitud ϕ		41°	
E_D	kWh/día	0,9	Consumo constante a lo largo del año
Periodo diseño		Diciembre	Mes de peor radiación y consumo constante ($k = 1,7$)
$(\alpha_{opt}, \beta_{opt})$		(0°, 51°)	
(α, β)		(20°, 45°)	Orientación e inclinación del tejado
$G_{dn}(0)_{diciembre}$	kWh/(m²·día)	1,67	Fuente: Instituto Nacional de Meteorología
FI		0,98	$FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \alpha^2]$
FS		0,92	Sombra chimenea de un 8 % en diciembre
$PR_{diciembre}$		0,60	Eficiencia energética global del sistema
$G_{dn}(\alpha, \beta)_{diciembre}$	kWh/(m²·día)	2,56	$G_{dn}(\alpha, \beta)_{diciembre} = G_{dn}(0)_{diciembre} \cdot K \cdot FI \cdot FS$
$P_{mp, min}$	kWp	0,586	$P_{mp, min} = \frac{E_D \cdot G_{dn}(0)}{G_{dn}(\alpha, \beta) \cdot PR}$

Para diseñar el generador se dispone de un módulo fotovoltaico cuyos parámetros en CEM tienen los siguientes valores:

- Potencia máxima = 110 Wp
- Corriente de cortocircuito = 6,76 A
- Corriente en el punto de máxima potencia = 6,32 A
- Tensión de circuito abierto = 21,6 V
- Tensión en el punto de máxima potencia = 17,4 V

Se elige un generador de 660 Wp (formado por dos módulos en serie y tres ramas en paralelo) y un acumulador con una capacidad nominal de 340 Ah en 20 horas. La tensión nominal del sistema es de 24 V. Ambos valores se han elegido para asegurar una probabilidad de pérdida de carga inferior a 10^{-2} (*).

Las tensiones del regulador se ajustan de forma que la profundidad de descarga máxima sea del 70%.

La eficiencia energética del inversor se estima en el 85 %, y la del regulador + acumulador en el 81 %.

(*) Véase, por ejemplo, Eduardo Lorenzo, "Electricidad Solar. Ingeniería de los Sistemas Fotovoltaicos". Progensa, 1994.

11.2.- DOCUMENTACIÓ QUE HAN D'INCLOURE LES MEMÒRIES. "INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACION Y AHORRO DE LA ENERGIA" IDAE. DIMENSIONAT D'INSTAL·LACIONS SOLARS FOTOVOLTAIQUES AÏLLADES DE LA XARXA.

1. Consumo diario de energía eléctrica

<i>Servicio</i>	<i>Energía diaria (Wh/día)</i>
E_D (Wh/día)	

2. Sistemas de bombeo de agua

Parámetro	Valor
Volumen de agua diario requerido Q_d (m ³ /día)	
Altura del depósito H_D (m)	
Profundidad del pozo (m)	
Altura total equivalente H_{TE} (m)	
Rendimiento de la motobomba η_{MB}	
Prueba de bombeo	
Nivel estático del agua H_{ST} (m)	
Nivel dinámico del agua H_{DT} (m)	
Caudal de prueba Q_T (m ³ /h)	

3. Dimensionado del generador

Parámetro	Unidades	Valor	Comentario
Localidad			
Latitud ϕ			
E_D	kWh/día		Consumo de la carga
Periodo diseño			Razón:
$(\alpha_{opt}, \beta_{opt})$			
(α, β)			
$G_{dn}(0)$	kWh/(m ² ·día)		Fuente:
FI			$FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \alpha^2]$
FS			Causa:
PR			
$G_{dn}(\alpha, \beta)$	kWh/(m ² ·día)		$G_{dn}(\alpha, \beta) = G_{dn}(0) \cdot K \cdot FI \cdot FS$
$P_{mp, min}$	kWp		$P_{mp, min} = \frac{E_D \cdot G_{dn}(0)}{G_{dn}(\alpha, \beta) \cdot PR}$

4. Dimensionado final del sistema

Parámetro	Unidades	Valor	Comentario
P_{mp}	Wp		Potencia pico del generador
C_{20}	Ah		Capacidad nominal del acumulador
PD_{max}			Profundidad de descarga máx. permitida por el regulador
η_{inv}			Rendimiento energético del inversor
η_{cb}			Rendimiento energético del regulador-acumulador
V_{NOM}	V		Tensión nominal del acumulador
L_D	Ah		Consumo diario de la carga ($L_D = E_D / V_{NOM}$)
A	Días		Autonomía: $A = \frac{C_{20} \cdot PD_{max}}{L_D} \eta_{inv} \eta_{cb}$
C_{20}/I_{sc}	h		$C_{20}/I_{sc} < 25$ para el caso general